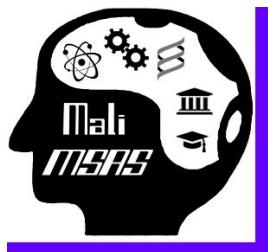


ISSN 1987 – 149X



2024

28 juillet-03 août 2024

ACTES DE LA CONFERENCE

Thème :

Science et développement socio-économique :
construire un avenir durable pour l'Afrique

Theme:

Science and Socio-economic Development:
Building a Sustainable Future for Africa

Volume 1

MSAS EDITIONS



Cuisiné & Bénévolat
mAliWatch

QUATORZIÈME
SYMPOSIUM MALIEN SUR
LES SCIENCES APPLIQUEES

<http://www.msasmali.org>

Email: contact@msasmali.org

MSAS 2024

14^e SYMPOSIUM MALIEN SUR LES SCIENCES APPLIQUÉES



Thème général :
**Science et développement socio-économique :
construire un avenir durable pour l'Afrique**

Actes de la conférence **Volume 1**

<http://www.msasmali.org>

Bamako, 28 juillet au 03 août 2024



Caisse & Benevolat
mAliWatch

COMITE LOCAL D'ORGANISATION – MSAS

Oumar BALLO <i>Bamako</i>	Bamoussa SAKHO <i>Bamako</i>
Ali BONKANO <i>Sikasso</i>	Aboubacar SAMAKÉ <i>Bamako</i>
Fatoumata CAMARA <i>Bamako</i>	Aboubacar SANGARÉ <i>Bamako</i>
Django CISSÉ <i>Bamako</i>	Mohamed SANGARÉ <i>Bamako</i>
Adama DEMBÉLÉ <i>MSAS, Bamako</i>	Youssouf SANOGO <i>Bamako</i>
Rokiatou T. DIAKITÉ <i>Bamako</i>	Fad SEYDOU <i>MSAS, Bamako</i>
Sabaké Tianégué DIARRA <i>IPR/IFRA, Katibougou</i>	Abdoulaye SIDIBÉ <i>IPR/IFRA, Katibougou</i>
Seydou HOUSSOUBA <i>Bamako</i>	Seydou SOGOBA <i>Bamako</i>
Fatoumata KEÏTA <i>Bamako</i>	Djeneba SOUMARÉ <i>Bamako</i>
Amadou KONÉ <i>USTTB, Bamako</i>	Mody SOW <i>Bamako</i>
Korotoumou KONÉ <i>Bamako</i>	Moussa THIAM <i>ENETP, Bamako</i>
Assoumane MAIGA <i>Bamako</i>	Adama TRAORÉ <i>ASM, Bamako</i>
Boucary Oumar MAÏGA <i>Bamako</i>	Brahima B. TRAORÉ <i>ISA, Bamako</i>
Mariam NIAFO <i>Bamako</i>	Idrissa S. TRAORÉ <i>ULSHB, Bamako</i>
Aïssata SALOU <i>Bamako</i>	Mohamed TRAORÉ <i>ENI-ABT, Bamako</i>
Bakary SAKHO <i>Sakho BECI, Bamako</i>	

COMITE INTERNATIONAL D'ORGANISATION

Diola BAGAYOKO
Baton Rouge, Louisiane, USA

Sidy BA
Bamako, Mali

Jim BARRY
Los Angeles CA, USA

Doulaye DEMBÉLÉ
Strasbourg, France

Sounkalo DEMBÉLÉ
Besancon, France

Moriké DEMBÉLÉ
Bamako, Mali

Djouroukoro DIALLO
Berne, Suisse

Abdoulaye DIARRA
Montréal, Canada

Sabaké Tianégué DIARRA
IPR/IFRA, Katibougou

Abdoulaye DOUCOURÉ
Floyd, Virginia, USA

Mamadou Lamine DOUMBIA
Trois-Rivières, Canada

Aliou HAIDARA
Dakar, Sénégal

Hamid HAMZA
Trois-Rivières, Canada

Mohomodou HOUSSOUBA
Bâle, Suisse

Moussa KANTÉ
Ségou, Mali

Fatoumata Bintou KEITA

Toronto, Canada

Amadou KONÉ
Bamako, Mali

Harouna MAIGA
Crookston MN, USA

Amadou NIANG
Utah, USA

Harouna NIANG
Bamako, Mali

Bakary SAKHO
Sakho BECI, Bamako

Bamoussa SAKHO
Bamako

Youssouf SANOGO
Bamako, Mali

Fad SEYDOU
Bamako, Mali

Mahamadou SEYDOU
Paris, France

Aissata SOW THIAM
Washington DC, USA

Moussa THIAM
Bamako, Mali

Adama TRAORÉ
Bamako, Mali

Brahima B. TRAORÉ
Bamako, Mali

Idrissa S. TRAORÉ
ULSHB, Bamako

Mohamed TRAORÉ
Bamako, Mali

COMITE TECHNIQUE INTERNATIONAL

Sidy BA, Mali	Moussa KANTÉ, Mali
Diola BAGAYOKO, USA	Fatoumata Bintou KEITA, Canada
Jim BARRY, USA	Amadou KONÉ, Mali
Cheickna DAOU, Mali	Assoumane MAIGA, Mali
Doulaye DEMBELÉ, France	Harouna Abdoulaye MAIGA, USA
Sounkalo DEMBELÉ, France	Bakary SAKHO, Mali
Djouroukoro DIALLO, Suisse	Fad SEYDOU, Mali
Moussa DIARRA, Canada	Mahamadou SEYDOU, France
Sabaké Tianégué DIARRA, Mali	Abdoulaye SIDIBÉ, Mali
Hamadou DICKO, France	Mahamadou Abdou TANKARI, France
Mamadou Lamine DOUMBIA, Canada	Moussa THIAM, Mali
Aliou Ousmane HAIDARA, Sénégal	Adama TRAORÉ, Mali
Nouhou HAIDARA, Canada	Brahima B. TRAORÉ, Mali
Hamid HAMZA, Canada	Mohamed TRAORÉ, Mali
Mohomodou HOUSSOUBA, Suisse	Mamadou WELE, Mali

PARTENAIRES ET SPONSORS

- | | |
|--|--|
| Présidence de la République | Ecole Normale
d'Enseignement Technique et
Professionnel (ENETP) |
| Primature | Initiative MaliWatch |
| Ministère de l'Enseignement
supérieur et de la Recherche
Scientifique | Académie des Sciences du
Mali (ASM) |
| Ministère des Maliens établis à
l'Extérieur | Direction Nationale des
Examens et Concours
(DNEC) |
| Ministère de la
Communication et de
l'Economie Numérique | Centre de Formation pour le
Développement (CFD) |
| Centre National des Œuvres
Universitaires (CENOU) | Programme TOKTEN Mali |
| Université de Ségou | Agence Malienne de la
Régulation des
Télécommunications et de
Postes (AM RTP) |
| Université des Lettres et
Sciences Humaines de
Bamako (ULSHB) | Agence Malienne de
Radioprotection (AMARAP) |
| Institut Polytechnique Rural
de Formation et de Recherche
Appliquée (IPR/IFRA) | Société malienne de la gestion
de l'eau potable (SOMAGEP) |
| Ecole Nationale d'Ingénieurs
Abderhamane Baba Touré
(ENI-ABT) | Blue Sky Négoces Mali |
| Université des Sciences, des
Techniques et des
Technologies de Bamako
(USTTB) | Agence universitaire de la
Francophonie (AUF) |
| Faculté des Sciences et
Techniques de l'USTTB | Entreprise SAKHO-BECI |
| Institut des Sciences
Appliquées (ISA)/USTTB | Journal Scientifique et
Technologique du Mali
(JSTM) |
| | Moov Africa-Malitel |
| | Caltech |
| | Université du Québec à
Trois-Rivières (UQTR) |

Merci à nos commanditaires et partenaires !



TABLE DES MATIERES

COMITE LOCAL D'ORGANISATION – MSAS	ii
COMITE INTERNATIONAL D'ORGANISATION	iii
COMITE TECHNIQUE INTERNATIONAL.....	iv
PARTENAIRES ET SPONSORS	v
TABLE DES MATIERES.....	vii
AGRICULTURE, ÉLÉVAGE, PÊCHE	1
Un aperçu synthétique sur la filière lait au Mali : Situation actuelle et perspectives	2
A summary overview of the dairy sector in Mali: Current situation and prospects	2
Effets du Feu sur les Facteurs Germinatifs des Graines de <i>Piliostigma Reticulatum</i> une Espèce Agroforestière à Tégument Dur.....	6
Prédiction de l’Indice de Surface Foliaire du Sorgho à partir de l’Imagerie Multispectrale sous Densité de Semis et Fertilisation Azotée au Sahel.....	16
Effets de Différents Types de Composts sur la Germination et Vigueur des Plantes du Sorgho en Serre au Mali	24
Compétitivité entre les Différents Systèmes de Riziculture au Mali	30
Evaluation des Performances agronomiques des essais à Base d’association (Riz-Sorgho) dans la Région de Dioila.....	38
Effect of Pneusols and Stone Rows on Soil Water Erosion in Sudan-Sahelian Zone, Case of Djindjila.....	42
Utilisation des Cultures Pièges dans la Gestion des Insectes Ravageurs et la Production du Cotonnier	48
Tolérance au flétrissement bactérien causé par <i>Ralstonia Solanacearum</i> (Rs) de la tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) greffée sur l'aubergine (<i>Solanum melongena</i>) au Mali	54
Influence des contraintes agro-biotiques sur la productivité du manioc (<i>Manihot esculenta</i>): Cas des villages de Dougoukouna et Banankoroni du bassin de production de Ségou au Mali	59
Systèmes Agropastoraux à l’Epreuve en Afrique de l’Ouest.....	65
Impacts de la rizipisciculture sur la productivité agricole et la fertilité des sols de rizières au Mali : cas à l’Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda (OPIB).....	71
Détermination de la valeur alimentaire et nutritionnelle des graminées fourragères <i>brachiaria ruziziensis</i> et <i>andropogon gayanus</i> au Mali.....	74
Perceptions Paysannes du Paquet Technique de Production de Gomme Arabique au Mali.....	82
Analyse des Déterminants de l’Adoption du Paquet Technique de Production de Gomme Arabique au Mali.	95
Caractérisation de la Végétation Herbacée du Ranch dans le Centre de Conservation, de Multiplication et de Diffusion du Bétail Ruminant Endémique de Madina Diassa dans le Cercle de Yanfolila au Mali	107
Caractérisation de la Pisciculture dans la Commune Rurale de Kaladougou, Région de Dioïla.....	115
Prévention et Traitement en Station de la Maladie de Gumboro avec l’Usage du Jaune d’œuf Hyper Immun au Mali	120
Performances pondérales comparées des hybrides F1 issus du croisement entre les races de poule Cou nu x Wassachè et Bleu d’hollande x Wassachè au secteur d’élevage de l’IPR-IFRA de Katibougou.....	128
Effet du Foin de <i>Brachiaria ruziziensis</i> sur les Performances des Bœufs de Trait dans la Zone Cotonnière du Mali	137
Influence de la Densité de Plantation de la Variété de Pomme de Terre (<i>Solanum Tuberosum L.</i>) Gala et de l’application de Deux Fongicides sur les Maladies dans les Conditions Climatiques du Moyen Oural, Ekaterinbourg, Fédération de Russie	143
Effets de Densité sur les Paramètres Agro-morphologiques de Trois Variétés de Pomme de Terre (<i>Solanum tuberosum L.</i>) en zone Soudano-Sahélienne Katibougou, Koulikoro au Mali	149
Influence de la Densité de Semis sur la Production de la Betterave Potagère (<i>Beta vulgaris</i>) dans les Conditions Agro-climatiques de Katibougou, Koulikoro, Mali	156

Effets des Techniques de Conservation de l'Eau et des Sols sur les Rendements du Mil (<i>Pennisetum Glaucum</i>) dans la Zone Sahélienne du Mali (cas des Villages de Tongo et N'gakoro dans la Commune Rurale de Cinzana)	161
Seasonal effects on annual litterfall dynamics and nutrient deposition of <i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertner in agroforestry parklands southern Mali « <i>Effet Saisonnier sur la Dynamique de la Litière Annuelle et le Dépôt de Nutriments de Vitellaria paradoxa C.F. Gaertner dans les Parcs Agroforestiers au Mali Sud</i> ».....	167
Vitesse de Décomposition des Emondes de <i>Guiera Senegalensis</i> , de <i>Piliostigma Reticulatum</i> et de <i>Gliricidia Sepium</i> et leurs Effets sur la Vitesse d'infiltration de l'Eau dans le Sol dans les Conditions Agroécologiques De Katibougou.....	174
Evaluation du biopesticide Aflasafe ML01 dans le contrôle de l'infestation des grains de maïs, sorgho et arachide par l'aflatoxine au Mali	177
Effet de la Densité de <i>Acacia Senegal</i> sur la Fertilité des Sols dans le Cercle de Nioro du Sahel Au Mali....	181
Contribution de la Production de Tomate (<i>Solanum Lycopersicum L.</i>) sur le Revenu des Exploitations Maraîchères du Cercle de Koutiala.....	184
Identification des Menaces qui pèsent sur <i>Pterocarpus Lucens</i> dans les Formations Naturelles des Zones Soudano - Sahéliennes et les Stratégies Locales de son Maintien. N'gala Yiri, Baradjè (Malinké), Dabakala-Yiri (Bambara); Gbere (Sénoufo)	193
Perceptions du Rôle et de la Place de <i>Pterocarpus Lucens</i> dans des Modes d'existence des Agro-Eleveurs des Zones Soudano – Sahéliennes au Mali : Cas des Régions de Koutiala, Ségou et de Koulikoro	199
BIOLOGIE, BIOTECHNOLOGIE, BIOCHIMIE, MICROBIOLOGIE	206
Prévalence de Salmonelle dans les Œufs de consommation issus des Elevages Moderne, Industriel, et Semi-Industriel	207
Évaluation du taux d'aflatoxine totale dans certaines céréales et légumineuses fortement consommées au Mali	213
Prévalence des coliformes totaux, staphylococcus aureus à coagulase positif et <i>Salmonella</i> spp. dans les aliments préparés analysés au Laboratoire National de la Santé (Mali) en 2022	221
Contrôle Biologique du Chancre Bactérien de l'Oranger (<i>Citrus X Sinensis</i>) Causés Par <i>Xanthomonas Citri</i> Subsp. à Banko Koura au Mali	225
Caractérisation Morphométrique et Génétique Préliminaire des Espèces de <i>Clarias</i> du Lac Magui.....	234
Diversité génétique du Zébu Peulh à l'aide de Marqueurs Microsatellites au Mali	242
Activité antioxydante <i>in vitro</i> des flavonoïdes de <i>Detarium microcarpum Guill & Perr (Fabaceae)</i> , récolté au Mali	248
Diversité Génétique du Mouton Peulh Toronké au Mali par Usage des Marqueurs Microsatellites.....	254

AGRICULTURE, ÉLÉVAGE, PÊCHE

Un aperçu synthétique sur la filière lait au Mali : Situation actuelle et perspectives

A summary overview of the dairy sector in Mali: Current situation and prospects

Harouna A. MAIGA

Agriculture and Natural Resources Department, University of Minnesota Crookston, MN – USA

Corresponding author: hmaiga@umn.edu

Résumé: Le Mali dispose d'un cheptel laitier important et l'élevage (viande et lait) représentait environ 15,2% du produit intérieur brut (PIB) du Mali en 2013 derrière les produits de l'agriculture (16,2%). Dans le contexte actuel de l'élevage, la production de lait est loin de couvrir les besoins du pays d'où l'importation massive de produits laitiers. Le Mali dépense chaque année entre 10 à 15 milliards de FCFA pour l'importation du lait et des produits laitiers et ceci malgré ses importantes ressources animales. Malgré un potentiel laitier de 2 443 310 tonnes de lait la consommation de lait au Mali reste faible. Le disponible laitier de 1 075 056 tonnes pour toutes espèces confondues correspond à 48 litres de lait de consommation moyenne par habitant. Ce chiffre est en deçà des normes de la FAO qui est de 62 litres par an. La filière lait connaît un faible développement dans tous ses maillons et les perspectives d'améliorations doivent s'articuler autour de tous ses segments, notamment : la production (croisement et/ou sélection des races, alimentation et santé animale), la collecte, la conservation, le transport, la distribution, la transformation, le conditionnement et la commercialisation du lait. Les améliorations proposées ne sauront être efficaces que si l'approvisionnement régulier en électricité des maillons en aval de la production surtout est assuré. Cette synthèse a pour objectif une revue de la littérature sur la filière laitière avec quelques propositions d'améliorations de la filière.

Mots clés : améliorations de la production, races laitières, renforcement de la filière, croisement, sélection

Abstract: Mali has a large dairy herd and livestock (meat and milk) accounted for about 15.2% of Mali's gross domestic product (GDP) in 2013, behind agricultural products (16.2%). In the current context of livestock farming, milk production is far from covering the country's needs, hence the massive import of dairy products. Despite its large animal resources, Mali spends between 10 and 15 billion CFA francs each year on the import of milk and dairy products. Despite a milk production potential of 2,443,310 tons, milk consumption in Mali remains low. The available quantity of 1,075,056 tons of milk from all livestock species corresponds on average to 48 liters of milk consumed per inhabitant. This figure is below the FAO standards of 62 liters per year. The dairy sector is experiencing weak development in all its links and the prospects for improvement must be based on all its segments, in particular: production (crossbreeding and/or selection of breeds, animal feed and health), collection, conservation, transport, distribution, processing, packaging and marketing of milk. The proposed improvements will only be effective if the regular supply of electricity to the downstream links of production in particular is ensured. The aim of this synthesis is to review the literature on the dairy sector with some proposals for improvements to the sector.

Keywords: production improvements, dairy breeds, strengthening the value chain, crossbreeding, selection.

I. INTRODUCTION

Le rapport 2015 de l'INSTAT cité par la DNPIA (2022) indique que l'élevage représentait environ 15,2% du produit intérieur brut (PIB) du Mali en 2013 derrière les produits de l'agriculture (16,2%) et devant l'or (7,2%). Les productions animales (lait et viande) contribuent pour 18% au revenu des agropasteurs et pour 80% à celui des populations de zones exclusivement pastorales (Pomeranz, 2006). Dans le contexte actuel de l'élevage malien, la production est loin de couvrir les besoins nationaux en

lait. Le Mali dépense chaque année entre 10 à 15 milliards de FCFA pour l'importation du lait et des produits laitiers et ceci malgré ses importantes ressources animales (MEP, 2008). En effet, les importations en lait ont représenté 60 millions de litres équivalent lait, la plus grande partie étant importée sous forme de lait en poudre dont le prix est subventionné pour des raisons de sécurité alimentaire par l'Etat malien (Diallo, 2018).

En 2022, le rapport de la DNPIA signale un potentiel laitier du Mali de près de 2 443 310 tonnes

assuré principalement par les bovins, les camelins, les caprins et les ovins. Ce potentiel laitier correspond à un disponible laitier (consommation, vente, dons) de 1 075 056 tonnes soit 44 à 50% du potentiel (48 litres de lait/habitant). Ce qui indique que la production laitière est loin de couvrir le besoin annuel du consommateur malien en lait estimé à 62 litres par la FAO, cité par Diallo (2018).

Dans le souci de promouvoir la filière lait local, le Gouvernement du Mali a adopté en 1985 une politique laitière qui visait l'accroissement de la production et de la consommation du lait local et la réduction des importations de lait et de produits laitiers. Cette politique laitière a connu un faible niveau de mise en œuvre qui ne lui a pas permis d'atteindre ses objectifs (MEP, 2008).

La filière lait connaît un faible développement dans tous ses maillons notamment : la production, la collecte, la conservation, le transport et la distribution, la transformation, le conditionnement, et la commercialisation du lait. Ce bref aperçu sur le secteur laitier au Mali a comme objectif une revue de la littérature disponible sur les aspects de la production, de la collecte, de la transformation, et de la commercialisation du lait avec quelques propositions d'améliorations de la filière.

II. SITUATION ACTUELLE DU SECTEUR LAITIER

Une production laitière qui ne couvre pas les besoins en lait du Mali

L'effectif du cheptel laitier du Mali est estimé à 13 234 158 bovins, 22 207 301 ovins, 30 661 134 caprins, et 1 317 057 camelins (DNPIA, 2022). Le potentiel laitier bovin est estimé à 687 012 tonnes (DNPIA, 2022) plaçant le Mali comme l'un des plus gros producteurs de lait de vache de la zone UEMOA (Union Economique Monétaire Ouest Africain (UEMOA). De façon générale, la production laitière du Mali est assurée à 98% par les élevages traditionnels et à 2% par les élevages périurbains à caractère semi-intensif sédentarisé (Diallo, 2018).

Les troupeaux laitiers sont élevés soit dans le système pastoral pur (transhumant et nomade), soit dans le système agropastoral (transhumant et sédentaire), soit dans les systèmes périurbains (favorables à la commercialisation du lait et produits laitiers). Les systèmes pastoraux et agropastoraux ne facilitent pas la collecte, le transport, la transformation et la commercialisation du lait cru, ce qui constitue un handicap sérieux à l'approvisionnement des populations en lait.

Il n'y a pas à proprement parler d'élevages intensifs laitiers comme dans les pays dits laitiers, mais des agriculteurs-éleveurs qui produisent, entre autres, du lait. Le lait est souvent considéré comme un sous-

produit rémunérateur de l'élevage (Pomeranz, 2006). Cependant, durant la dernière décennie, il y a une dynamique de revitalisation de la filière lait dans des fermes modernes pratiquant la polyculture et l'élevage.

Une autre caractéristique de la production de lait au Mali est que les espèces utilisées pour cette spéculation ont un potentiel laitier très faible. Les taurins de type N'Dama ont une production laitière très limitée (1 à 2 litres). Les zébus (Peul, Maure et Azawak) produisent entre 3 et 5 litres par jour en saison des pluies. Mais des races importées comme la Holstein, la Montbéliarde et la rouge des steppes sont aussi utilisées de façon limitée dans les centres urbains de production.

Il est difficile d'estimer avec exactitude la consommation de lait au Mali et les derniers chiffres font état d'une grande disparité régionale. Selon le rapport du MEP (2008), la consommation moyenne de lait est estimée à 30 litres/personne/an en milieu nomade, 5 et 6 litres dans le sud du pays et 10 litres pour le reste du pays. Ouologuem et al. (2008) indiquent que la consommation de lait est beaucoup plus élevée au niveau des populations urbaines de Bamako, Ségou et Sikasso. Il est à remarquer que la consommation de ces trois grandes villes est essentiellement couverte par les produits transformés ou reconditionnés au Mali ou dans la sous-région mais issus de lait en poudre importé (Diallo, 2018). La disparité régionale dans la consommation de lait dépend de plusieurs facteurs, à savoir : la mauvaise organisation de la filière lait, le mode d'élevage extensif et transhumant (l'éloignement des zones de production des centres urbains), le faible niveau de formation des éleveurs, le sous équipement des producteurs laitiers et la mauvaise organisation de la collecte du lait (Diallo, 2018).

Une filière laitière qui connaît un faible développement

En effet le secteur laitier au Mali connaît un faible développement dans tous ses maillons notamment : la production, la collecte, la conservation, le transport et la distribution, la transformation, le conditionnement, et la commercialisation urbaine.

Aussi la dépendance accrue aux importations des produits laitiers est réelle et enracinée dans les habitudes des consommateurs et des industries locales de transformation du lait (Pomeranz, 2006). En raison d'un tarif douanier actuellement très faible et des subventions de l'Etat malien, l'importation massive de la poudre de lait est très attractive. De plus, l'utilisation présente du lait en poudre aujourd'hui offre plus d'avantages que celle du lait local : facilité d'utilisation, hygiène, fourniture en quantité suffisante tout au long de l'année. Enfin, le lait en poudre et ses produits dérivés bénéficient d'un marketing efficace au

désavantage du lait local qui n'a pas les mêmes moyens promotionnels (Pomeranz, 2006).

III. PERSPECTIVES D'AMELIORATIONS DE LA FILIERE LAITIERE

Compte tenu du faible développement de ce sous-secteur des production animales, les perspectives d'améliorations doivent s'articuler autour de tous les maillons de la filière.

- **La production**

L'élevage laitier doit répondre à sa vocation de production laitière. Il faut des races adaptées à la production laitière soit par une intensification poussée de l'amélioration génétique des races locales par des croisements avec les races exotiques soit par l'importation accrue des races étrangères. Certains éleveurs maliens ont déjà introduit dans leurs troupeaux des races laitières importées comme la Holstein, la Montbéliarde, et la rouge des steppes. Ces éleveurs ont une bonne expérience dans la gestion de ces races et qui pourrait servir d'autres éleveurs intéressés d'exploiter ces races. Dans les zones périurbaines, l'amélioration par le croisement a créé des produits à plus grand potentiel laitier dont la production de deuxième génération est évaluée entre 20 et 25 litres par jour et par vache (DNPIA, 2022).

L'amélioration génétique rapide passera par l'insémination artificielle (IA) des races locales déjà en cours dans plusieurs élevages. Le Mali dispose d'un Centre National d'Insémination Artificielle (CNAIA) moderne qui offre ses meilleurs services d'insémination aux éleveurs et qui doit continuer la vulgarisation de la technique. L'usage des embryons de races étrangères ou de croisées avec les races locales doit être exploré et éventuellement mis en pratique par le CNAIA. Dans le long terme, avec ces technologies modernes, les éleveurs peuvent envisager de créer et fixer des nouvelles races laitières adaptées aux conditions d'élevage du Mali.

Pour le moment, les races locales et leurs métisses à haut potentiel laitier offrent la meilleure perspective à l'accroissement de la production de lait au Mali. Le rapport technique du MEP (2008) donne une estimation de la production laitière potentielle de nos races comme : le Zébu Azawak dont la femelle produit en moyenne 3 à 4 litres de lait/jour en saison pluvieuse ; le Zébu Maure avec une production de 2 à 3 litres/jour ; et la chèvre noire de Boureissa (Kidal) dont les performances laitières se situeraient entre 1 et 3 litres/jour. Ces niveaux de production peuvent être améliorés par croisement avec des races exotiques via l'insémination artificielle, outil de diffusion à grande échelle du progrès génétique. En effet, les métis bovins que l'on retrouve exclusivement autour des centres urbains produisent en moyenne de 10-15 litres /jour

par vache (F1 ou première génération), un peu moins que la production laitière des deuxièmes générations. Il est également envisageable d'accroître la productivité des élevages par sélection des meilleurs reproducteurs. Si la femelle produit le lait, le mâle possède le potentiel génétique qui s'exprime chez sa descendance (génisse ou brebis). Bien que le progrès génétique par cette voie soit longue et lente, selon l'hérédité du caractère à améliorer, c'est un moyen d'améliorer le génotype de nos races et leur conservation. L'IA pourra aussi être utilisée pour la diffusion des semences des meilleures géniteurs. Cette voie d'amélioration nécessite cependant la mise en place d'un contrôle régulier des performances et donc d'une identification individuelle des animaux. Ce sera possible avec le concours de la recherche agricole.

L'alimentation est un autre facteur limitant de la production qui se caractérise par le manque d'aliments nutritifs disponibles en toute saison de l'année. L'aliment de base dans la nutrition de la vache laitière est le fourrage qui est insuffisant durant la saison sèche. Des stocks pourront être constitués dès la fin des pluies pour une conservation en ensilage ou en paille. Les concentrés sous forme de céréales, tourteaux de coton, tourteaux d'arachide et autres compléments protéiniques, les sels minéraux et les vitamines sont aussi essentielles à la production laitière.

L'amélioration de l'alimentation des animaux passe aussi par l'adoption des cultures fourragères, l'élaboration d'une politique efficace d'hydraulique pastorale, la promotion des unités de production d'aliments du bétail et la gestion rationnelle des ressources naturelles à travers la lutte contre les feux de brousse et le suivi des écosystèmes pastoraux entre autres (MEP, 2008).

L'amélioration de la santé animale est indispensable pour disposer du lait de très bonne qualité nutritive. Aussi, le respect des mesures d'hygiène, de vaccination et de prophylaxie doit être de rigueur. (MEP, 2008).

Outre les aspects ci-dessus évoqués, toute amélioration de la production laitière ne peut se passer sans celle de la gestion du troupeau laitier (qualité des étables, identification individuelle des animaux et contrôle des performances zootechniques) et de l'exploitation en général.

- **La collecte et la conservation du lait**

Dans le cadre de la stratégie de Valorisation de la Production du Lait Cru Local (projet Prodevalait) proposée par le gouvernement (MEP, 2008), il est prévu la mise en place de centres de collecte équipés de tanks et l'équipement des producteurs en moyens logistiques pour la livraison du lait. Cette politique gouvernementale doit être poursuivie. La collecte et la

transformation du lait cru n'est possible que lorsque les éleveurs et les transformateurs du lait disposent d'équipements adéquats permettant de collecter et de refroidir très rapidement le lait et le maintenir entre 3 à 4 degrés Celsius avant la transformation.

- **Le transport et la distribution du lait**

La filière doit être aussi dotée de véhicules appropriés de transport et de distribution du lait au niveau des centres de collecte et de transformation du lait (laiteries et usines).

- **La transformation et le conditionnement du lait et produits laitiers**

Le segment transformation doit être amélioré par l'implantation d'unités de traitement de lait avec la possibilité de traiter le lait à l'ultra haute température (UHT) qui conserve le lait conditionné (empaqueté) pour une durée de 6 à 9 mois à la température ambiante. La production de lait UHT a pour but de valoriser le surplus de lait disponible en saison pluvieuse au bénéfice des consommateurs en saison sèche (MEP, 2008).

Comme prévu par le Ministère de l'Elevage et de la Pêche, l'implantation des unités de transformation dans les villes de Bamako, Kayes, Sikasso, Ségou, Mopti, Tombouctou, Gao et Kidal (pour le lait de chameau) se justifie car les éleveurs autour de ces villes ont un niveau de production de lait appréciable pour approvisionner ces centres. Ces unités seront dotées d'équipements et d'infrastructures appropriés pour le transport, la conservation et l'approvisionnement des grossistes en produits finis.

La création de centres de collectes et de mini laiteries artisanales peut aussi permettre une transformation rapide du lait cru et donner une chance d'approvisionnements réguliers des consommateurs locaux.

- **La commercialisation du lait**

Le développement des infrastructures et équipements de commercialisation (amélioration des équipements de conservation du lait frais ou transformé) permettra de valoriser davantage la filière laitière et lui donner

sa place de choix par rapport aux importations massives de poudre de lait. En plus, cela donnera une plus-value importante à un produit très périssable comme le lait cru.

IV. CONCLUSION

Cette revue bibliographique sur le secteur laitier du Mali révèle une filière très peu développée qui ne satisfait pas les besoins en consommation de lait du pays. Cette synthèse est limitée aux aspects de production, de collecte, de transportation et de commercialisation du lait. D'autres aspects de la filière tels que le rôle des acteurs de la filière, les organisations professionnelles, les politiques fiscales et commerciales, le rôle des femmes dans la filière laitière locale et son développement, etc. sont aussi importants et pourront faire l'objet d'une étude ultérieure. Il faut noter qu'il y a une volonté présente des producteurs et du gouvernement d'investir dans ce secteur pour l'intensification de la production et la modernisation des structures et des circuits de commercialisation. Toute amélioration de la filière laitière passe par des investissements dans tous ses maillons. Cela ne saurait être efficace sans une disponibilité régulière de l'électricité pour l'approvisionnement correct de toute la filière

REFERENCES

1. Diallo, M. 2018. Etat des filières laitières dans les 15 pays de la CEDEAO, de la Mauritanie et du Tchad. Annexe 7 : Fiche Mali. CIRAD. Rapport CIRAD. 5-34. DNPIA, 2022. Rapport Annuel Mars 2022. 25-57.
2. DNPIA. Direction Nationale des Productions et des Industries Animales. 2022. Rapport Annuel 2022. 3-86.
3. MEP. Ministère de l'Elevage et de la Pêche. 2008. Stratégie de valorisation du lait cru local au Mali. 3-38.
4. Ouologuem, B., Coulibaly D, Pocard-Chapuis R, Corniaux C, Kassambara I, Coulibaly MD, Niang M, Bengaly K., 2008. Production, commercialisation et consommation de lait et produits laitiers en zones périurbaines du Mali. Rapport final de recherche du projet Bov 9-2 (FSP), IER, Bamako, Mali, février 2008. 1-224.
5. Pomeranz, S. 2006. Les filières laitières au Mali. Collectif Alimentaire. Rapport technique. 4-34.

Effets du Feu sur les Facteurs Germinatifs des Graines de *Piliostigma Reticulatum* une Espèce Agroforestière à Tégument Dur

DABO. H^{*1}; Maguiraga R.²; DIAWARA B.¹; DEMBELE. F³; KEITA M.¹, CISSE S.⁴; TIMBELY. D¹

¹: Institut d'Economie Rurale (IER)-Mali;

²: Inspection de l'Elevage et de la Pêche

³: Institut Polytechnique Rurale de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katiougou.

⁴: Agence de l'Environnement et du Développement Durable (AEDD)

Adresse du correspondant : maradx2008@gmail.com

RÉSUMÉ : La flamme est souvent citée comme favorisant la germination des graines en fragilisation le tégument. Cependant certaines études en disent le contraire. La présente étude a été réalisée dans le but d'évaluer les effets de la brûlure de la paille de *Pennisetum pedicellatum*, d'*Andropogon pseudapricus* et de *Cassia tora* sur les différentes parties des graines de *Piliostigma reticulatum* une espèce agroforestière à téguments durs afin de caractériser les facteurs de la germination.

La paille de *P. pedicellatum*, *A. pseudapricus* et de *C. tora*, comme facteur principal (P) et la quantité de la biomasse (Qt) comme facteur secondaire, suivant un dispositif en bloc complètement randomisé avec deux facteurs étudiés. Le test de germination a été réalisé sur les graines à tégument brûlé. L'étude a été réalisée dans l'ancienne de l' Unité des Ressources Génétiques de IER-Bamako.

Les résultats obtenus montrent que, le temps de brûlure le plus court a été obtenu avec la paille d'*A. pseudapricus* (1mn 04s) à 20 g. Le temps de brûlure le plus long a été obtenu avec la paille de *C. tora* à 60 g (4mn 51s). La nature de l'espèce ainsi que la quantité de la biomasse ont eu un effet très hautement significatif ($P<0,001$) sur le nombre de graines à tégument brûlé. A à 40 g de paille d'*A. Pseudapricus*, les graines de *P. reticulatum* ont enregistrés un taux de germination de 5,88 %. Le délai de la germination le plus court a été obtenu sur la paille de *C. tora*, *P. pedicellatum* et le témoin 16avec chacun.

Les résultats obtenus ne sont pas certes très significatifs pour le taux de germination des graines prétraitées par le feu. Le délai de germination le plus court et l'échelonnement de la levée le plus groupée ont été obtenu sur les graines prétraités par le feu. Les données obtenues sont certes d'une importance capitale mais sont insuffisantes pour conclure que l'effet de la brûlure de la paille de *C. tora*, *P. pedicellatum* et *A. pseudapricus* peuvent améliorer significativement la performance germinative des graines *P. reticulatum*. Ces résultats peuvent être approfondis pour une meilleure compréhension du phénomène de levée de dormance tégumentaire des graines des espèces agroforestières par l'effet du feu et pourront permettre aux agriculteurs de prendre des dispositions pour faciliter le maintien et la valorisation de ces espèces agroforestier.

Mots-clés : Tégument dur – Germination - Feu - Espèces - Agroforesterie

INTRODUCTION

L'exploitation des plantes ligneuses fait partie des pratiques humaines les plus anciennes en milieu rural. Au Sahel, la récurrence des sécheresses combinée aux actions anthropiques influent négativement sur les espèces ligneuses très prisées par la population rurale. L'exploitation incontrôlée des formations végétales boisées entraîne la régression rapide, voire la disparition totale de certaines plantes très utiles aux communautés (Ammari, 2011). En effet, les ressources naturelles renouvelables (terres, forêts, faunes et eaux) constituent la base fondamentale pour le développement économique et social de la population rurale du Mali (USAID, 2006). Elles contribuent à la subsistance de 70 % des populations et représentent la clé du développement rural. Cependant, ces dernières années, les espèces agroforestières traditionnelles sont de plus en plus soumises à une surexploitation qui dépasse leurs capacités naturelles de régénération. Elles occupent une place marginale

dans les campagnes de reboisement (Bationo, 2002). Cette situation a entraîné la réduction généralisée du couvert végétal et la dégradation des terres.

Les prospections effectuées par le Programme Promouvoir l'Expérimentation et l'Innovation Paysannes au sahel pour améliorer la sécurité alimentaire et la conservation des ressources naturelles (PROFEIS), ont permis de constater que cette dégradation des terres entraîne, la baisse de la fertilité des sols, l'érosions éolienne et hydrique et les paysans ne parvenaient pas à avoir de bons rendements. Pour faire face à cette situation, ils font souvent recours à la plantation d'espèces ligneuses dans les champs comme *P. reticulatum*, *G. senegalensis*, *C. micranthum* etc. qui, autrefois, étaient sévèrement coupées ou déracinées lors de la mise en culture des champs.

Ainsi, dans sa politique de lutte contre la dégradation des terres, l'ONG ADAF/Galé dans la commune rurale de Timissa a lancé un vaste programme de reboisement des espèces

agroforestières notamment *P. reticulatum*. Des difficultés ont été rencontrées lors de la production des plants de cette espèce, en l'occurrence, la dormance tégumentaire, la prédatation par les animaux et/ou l'infestation des graines. Un paysan innovateur a proposé la technique de scarification manuelle comme prétraitement des graines de *P. reticulatum* (Niama). La scarification manuelle proposée par le paysan innovateur consiste à percer le tégument de chaque graine afin d'y faire une petite entaille, les graines scarifiées sont placées dans des coupons de sac en jute contenant un mélange de sable et de terreau et attaché avec un filet. Le paysan pouvait donc se déplacer avec les coupons de sac en jute et apporter de l'eau pour humidifier les coupons périodiquement. Cependant cette technique proposée par le paysan innovateur était fastidieuse et prenait beaucoup de temps. Rolston, (1978) a signalé que la dormance tégumentaire est très répandue dans les régions tropicales sèches.

Par suite de ces constats, cette étude a été initiée pour améliorer la germination des graines de *P. reticulatum*, une espèce agroforestière à tégument dur et contribuer au maintien de la biodiversité végétale au niveau des parcs agroforestiers.

METHODES

Facteurs étudiées

Deux facteurs ont fait l'objet d'étude:

- ✓ Le facteur principal, la paille des espèces herbacées, pris à trois niveaux de variation (P1, P2 75 et P3); **P1: Pennisetum pedicellatum; P2: Andropogon pseudapricus; P3: Cassia tora.**
- ✓ Le facteur secondaire, la quantité de paille des espèces herbacées, pris à quatre niveaux de variation (Qt0, Qt1, Qt2 et Qt3). Avec : **78Qt0 = 0 g ; Qt1 = 20 g ; Qt2 = 40 g ; Qt3 = 60 g.**

La paille de ces espèces a été fauchée dans la forêt classée de la commune rurale du Mandé située à environ 15 km de la ville de Bamako. La paille des espèces a été fauchée à la maturité totale, ensuite des échantillons de 20 g, 40 g et 60 g ont été pesés avec une balance électronique de précision pour constituer les différentes quantités du facteur secondaire.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est un bloc de Ficher en factoriel complètement randomisé avec deux facteurs à étudier en trois répétitions.

Les traitements sont les suivants: P1Qt0; P1Qt1; P1Qt2; P1Qt3; P2Qt0; P2Qt1; P2Qt2; P2T3; P3Qt0; P3Qt1; P3T2; P3Qt3.

Conduite de l'expérimentation

Les graines des espèces agroforestières ont été récoltées dans la région de Ségou, commune rurale de Cinzana. Après la réception des graines, elles ont été vannées, tamisées et triées, afin de les rendre propres et indemnes de toutes impuretés. Les graines présentant des caractéristiques anormales ont été éliminées de l'échantillon.

Un échantillon de 5 kg de graines a été constitué et

trempé dans de l'eau pendant 2 heures; les graines flottantes ont été récupérées et extraites de l'échantillon. Les graines ont été mises au séchage à l'ombre, puis placées dans les moustiquaires préparées à cet effet et placées dans un sac à jute, pendant 48 heures. Cette opération a été suivie par le comptage de graines par espèce. Au total 12 échantillons de 100 graines ont été comptés. Les 100 graines ont été mises dans un sachet plastique, étiqueté.

Les 100 graines de chaque traitement ont été déposées entre les couches de chaque pailles (20 g; 40 g et 60 g) contenue dans une boîte de tomate d'un kilogramme, puis enflammées. Les boîtes de tomates ont été étiquetées avec le nom des différents traitements et répétitions.

La brûlure des pailles a été effectuée entre 8h00 et 10h00 dans un milieu naturel, afin de faciliter la reproductibilité des résultats dans les conditions similaires de celles des agriculteurs.

Après le passage du feu, les graines ont été examinées avec une loupe portative, pour identifier les parties touchées par la flamme (tégument, embryon) et calciné.

Pour la caractérisation de la germination, un test a été effectué avec le nombre de graines à tégument brûlé de chaque traitement sur les trois répétitions en fonction des quantités de paille (20 g; 40 g et 60 g) comparé au témoin. Les graines sont mises en germination dans les coupons de sacs en jute contenant du sable et soigneusement arrosés matin et soir. L'eau d'arrosage n'était pas quantifiée, les coupons de sacs en jute étaient suffisamment humidifiés.

L'expérimentation a duré trente deux jours. Les graines germées ont été enlevées du coupon de sac en jute et mises individuellement dans les pots étiquetés.

Le taux de germination (T_g) correspondant à la proportion de graines germées par rapport au nombre total de graines semées, a été calculé suivant la formule ci-dessous donnée par (ISTA 2009).

$$T_g = 100 * \frac{G}{N} \quad (1)$$

Avec :

G: nombre de graines germées;

N: nombre total de graines mises en germination.

La germination a été appréciée sur une période de 32 jours à partir de l'observation de la première levée, en se référant aux échelles de la Station de Recherche sur la Biologie des Essences Autochtones (SRBEA, 1977 cité par Korbo, 2020), qui sont :

- ✓ Le taux de germination c'est la proportion de graines germées par rapport au nombre total de graines mise en germination, Très faible: inférieur à 20 %; Faible: compris entre 21 et 40 %; Moyenne: compris entre 41 et 60 %; Elevé: compris entre 61 et 80 %; et Très élevé: supérieur ou égal à 81 %);
- ✓ Le délai de la levée est le temps qui s'écoule entre le semis et l'observation de la première

germination. L'échelle pour le délai de la levée est la suivante : Très rapide : inférieur à 15 jours ; Rapide : entre 15 et 21 jours ; Lent : entre 22 et 28 jours ; et Très lent : supérieur ou égal à 29 jours ;

- ✓ L'échelonnement de la levée c'est le temps où la germination a effectivement lieu, c'est-à-dire le temps qui sépare la date de la première germination et celle de la fin de la germination (Sanogo et al., 2013 ; ISTA, 2009). L'échelle pour l'échelonnement de la levée est la suivante : Très groupé : inférieur ou égal à 7 jours ; Groupé : entre 8 et 14 jours ; Etalé : entre 15 et 21 jours ; et Très étalé : supérieur ou égal à 22 jours.

Collecte des données

Les données collectées dans cette expérimentation pour les analyses sont; le nombre de graines à embryons brûlés, le nombre de graines à tégument brûlé, le nombre de graines calcinées.

Pour le test de germination les observations ont porté sur le comptage du nombre de graines germées toutes les 48 heures.

Analyse des données collectées

Toutes les données obtenues ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA), avec le logiciel Genstat 12^{ed}, le test de Newman et Keuls a été utilisé pour la séparation des moyennes au seuil de signification 5 %. Le logiciel R-03.4.3 a été utilisé pour les analyses de corrélation des variables quantitatives et Excel a été utilisé pour faire les graphiques et la saisie des données collectées.

RÉSULTATS D'ANALYSE DE LA VARIANCE

A. Temps de brûlures

Les résultats d'analyse de la variance (Anova) du temps de brûlure de la paille des espèces herbacées sur les graines des espèces agroforestières figurent dans le tableau 2.

Pour l'interaction espèce de paille et la quantité la différence n'est pas significative au seuil de 5% avec une probabilité ($p=0,123$). Pour l'effet simple de la paille de l'espèce les résultats d'analyse de la variance ont montré une différence significative ($P=0,04$). Pour la quantité de la paille de l'espèce, l'analyse a révélé une différence très hautement significative ($p=<0,001$). La moyenne générale obtenue est de 2mn71s et un coefficient de variation de 5,8%. Temps de brûlures de la paille est fonction de la qualité (l'espèce) et de la quantité de paille. Pour la même quantité, la paille de l'espèce *C. tora* met plus de temps à brûler que celles de *P. pedicellatum* et *d'A. pseudapricus*.

*Effets de trois espèces de paille et de leurs quantités brûlées sur les parties de graines du *P. reticulatum**

Les résultats d'analyse de variance (Anova) des effets de trois espèces de paille et de leurs quantités brûlées figurent dans le tableau 2.

L'analyse de la variance (Anova) du nombre de graines d'embryon brûlé, n'a pas montré une différence significative pour la quantité de paille ($p =$

0,208) et pour les espèces ($p = 0,223$), ainsi que l'interaction entre les espèces et les quantités de paille ($p = 0,123$) au seuil de signification 5 %, avec une moyenne générale de 21,6 et un coefficient de variation de 28,7 %. Pour le nombre de graines à tégument brûlé, l'analyse de la variance a montré une différence très hautement significative ($P < .001$) au seuil de signification 5 % pour les espèces et les quantités de paille, l'interaction n'est pas significative ($p = 0,078$) au seuil de 5 %. La moyenne générale enregistrée est de 37,3 et un coefficient de variation de 8,7 %. Cependant à 20 g de paille les trois espèces ont enregistré le nombre de graines à tégument brûlé le plus élevé avec 88,7 graines pour le *P. pedicellatum*, 79 graines pour *A. pseudaprucus* et 40 graines pour *C. tora*. Ce ci prouve encore que la combustion de la paille de *C. tora*, affecte beaucoup plus les parties de graines, avec un nombre très faible de graines à tégument brûlé à 60 g et à 40 g.

En ce qui concerne le nombre de graines calcinées, l'analyse de la variance a montré une différence hautement significative ($p = 0,02$) pour l'interaction au seuil de signification 5 % entre les facteurs étudiés. La moyenne générale obtenue est de 41 graines et un coefficient de variation de 20,2 %. Pour les espèces et les quantités de la paille l'analyse de variance a permis d'enregistré une différence très hautement significative ($P < .001$), au seuil de signification de 5 %. Pour toutes les espèces, la quantité de graines calcinées augmente proportionnellement à la quantité de paille brûlée. Ainsi, à chaque niveau, la quantité de 60 g a enregistré le plus grand nombre de graines calcinées suivi de 40 g. Le plus faible nombre de graines calcinées a été observé avec la quantité de paille 20 g (Tableau 1).

Tableau 1 : Délai de germination et l'échelonnement de la levée

Espèce paille	Quantité (g)	Temps de brûlure (mn/s)
Interaction entre le facteur principal et le facteur secondaire		
<i>C. tora</i>	20	2,37
	40	2,53
	60	4,51
<i>P. pedicellatum</i>	20	1,87
	40	2,82
	60	3,27
<i>A. pseudapricus</i>	20	1,57
	40	1,51
	60	3,92
Probabilité (P*Qt)		0,123
Facteur principal (Biomasse de l'Espèce)		
<i>C. Tora</i>		3,13c
<i>P. pedicellatum</i>		
<i>A. pseudapricus</i>		2,65ab

	2,34a
Probabilité Espèces (P)	0,041
Facteur Secondaire (quantité de paille de l'Espèce)	
20g	1,94a
40g	2,29a
60g	3,90b
Probabilité Quantités (Qt)	<.001
Moyenne générale	2,71
CV %	5,8

Taux de germination des graines à tégument brûlé de P. reticulatum

Les résultats du test de germination des graines de Pour le témoin, la germination a commencé à première date d'observation (48 heures après la mise en germination) et évolué exponentiellement à deuxième date d'observation, pour se stabiliser à la troisième date d'observation et ce jusqu'à la dernière date d'observation. Le taux de germination obtenu pour le témoin est de 24 %, qui représentent un taux de germination faible.

Pour la paille de *C. tora*, à 20 g, la germination a débuté à la première date observation et a évolué nettement à la deuxième date d'observation pour se stabiliser aux autres dates observation jusqu'à la fin de la période de test (32 jours). Le taux de germination obtenu est de 3,77 % (figure 4) qui est inférieur à celui obtenu par le témoin sans prétraitement, qui est classé comme très faible et inférieur à 20 % selon la classification de ISTA (2009). Pour 40 g et 60 g de paille de *C. tora* les

observations faites n'ont pas fait état de graine germée jusqu'à la fin du test (32 jours).

Pour la paille d'*A. pseudapricus* à 20 g et à 60 g, aucune graine n'a germé sur l'ensemble des observations effectuées. Pour 40 g de paille, la germination a débuté à la deuxième date d'observation et devient constante sur l'ensemble des autres observations réalisées, avec un taux de germination de 5,88 %, qui est classé comme très faible selon la classification d'ISTA.

Ces résultats sont inférieurs à celui obtenu par le témoin, mais supérieur à celui obtenu à 20 g de paille de *C. tora*.

En ce qui concerne la paille de *P. pedicellatum*, à 20 g, la germination a été amorcée à la première date d'observation pour rester constante sur l'ensemble de la période du test de germination avec un taux de germination de 1,14 %. Pour la paille de 40g et de 60g, le taux de germination a été nul sur toute de la durée de test.

Pour la caractérisation de la germination deux paramètres ont fait l'objet d'observation, le délai de la levée et l'échelonnement de la levée des graines à tégument brûlé *p. reticulatum*.

Les graines de *P. reticulatum* à 20 g de paille de *C. tora*, ont obtenu un délai de germination très rapide (2 jours) et un échelonnement très groupé (5 jours). Avec la paille de *P. pedicellatum* à 20 g, le délai de la germination a été très rapide (2 jours) et un échelonnement très groupé (2 jours).

En ce qui concerne la paille d'*A. pseudapricus* à 40 g, le délai de la germination est très rapide (5 jours).

Tableau 2 : Interaction de l'espèce de paille et de la quantité de paille brûlée sur les différentes parties de la graine de *P. reticulatum* (Pied de chameau)

Espèce paille	Quantité (g)	Nb. Embryon brûlé (grs)	Nb. tégument brûlé (grs)	Nbre calcine (grs)
Interaction entre le facteur principal et le facteur secondaire				
<i>C. tora</i>	20	38,7	40,0	21,3ab
	40	20,3 grs	5,0	74,7bc
	60	23,0	1,7	75,3bc
<i>P. pedicellatum</i>	20	10,7	88,7	0,7a
	40	37,3	59,0	3,7a
	60	19,0	44,3	36,7b
<i>A. pseudapricus</i>	20	17,3	79,0	3,7a
	40	25,0	17,0	58,0b
	60	3,3	1,3	95,3
Probabilité (P*Qt)		0,123	0,078	0,002
Facteur principal (paille de l'Espèce)				
<i>C. Tora</i>		27,30	15,60a	57,1b
		22,30	64,00b	13,7a
		5,2	32,40c	52,3b

Probabilité Espèces (P)	0,223	<.001	<.001
Facteur Secondaire (quantité de paille de l'Espèce)			
20g	22,30	62,20a	8,6a
40g	27,60	27,00b	45,4b
60g	15,10	15,80b	69,1c
Probabilité Quantité (Qt)	0,208	<.001	<.001
Moyenne générale	21,6	37,3	41,0
CV %	28,7	8,7	20,2

Avec : Nbre grs d'embryon brûlé : Nombre graines d'embryon brûlé ; Nre de grs tégument brûlé : Nombre de graines tégument brûlé ; Nbre de grs calciné : Nombre de graines calcinée; P : paille ; Qt : Quantité de paille ; CV : Coefficient de variation, CT : *Cassia Tora*; AP : *Andropogon pseudapricus*; PP : *Pennisetum pedicellatum*

Et un échelonnement de la levée très groupée (5 jours). Pour les graines de *P. reticulatum* sans prétraitement (témoin), le délai de la germination a été très rapide 2 jours, avec un échelonnement de la levée de 30 jours.

Corrélation entre les différentes parties brûlées de graines de *P. reticulatum* avec la paille d'*A. pseudapricus*.

Les résultats d'analyse de corrélation (tableau 4) des différentes parties de graines brûlées de *P. reticulatum* avec la paille d'*A. pseudapricus*.

La paille d'*A. pseudapricus* est négativement corrélée (-0,91) avec le nombre de graines à tégument brûlé. La paille d'*A. pseudapricus* est fortement corrélée (0,98) avec le nombre de graines calcinées.

Le nombre de graines à tégument brûlé est négativement corrélé (-0,94) avec le nombre de graines calcinées, ce qui veut dire, quand le nombre de graines à tégument brûlé diminue le nombre de graines calcinées augmente et inversement.

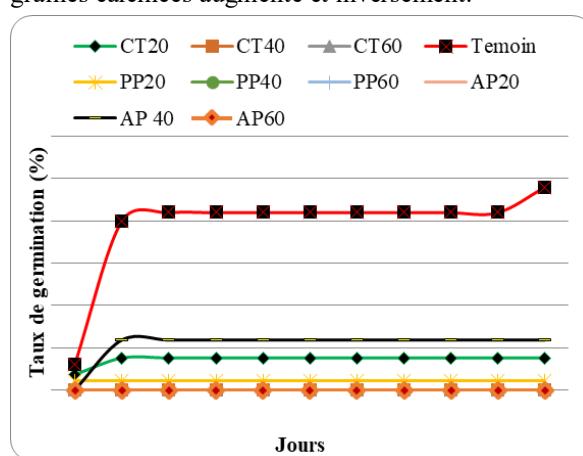


Figure 1 : Cinétique de la germination des graines à tégument brûlé de *P. reticulatum*

Tableau 3 : Délai de la levée et échelonnement de la levée

<i>P. reticulatum</i>			
Espèce paille	Quantité (g)	Délai de la germination	Echelonnement de la levée

		on (jours)	(jours)
<i>C. tora</i>	20	2,00	5,00
	40	00,00	00,00
	60	00,00	00,00
<i>P. pedicellatum</i>	20	2,00	2,00
	40	00,00	00,00
	60	00,00	00,00
<i>A. pseudapricus</i>	20	00,00	00,00
	40	5,00	5,00
	60	00,00	00,00
Témoins		2,00	30,00
Moyenne générale		1,0	1,33

Corrélation des différentes parties de graines brûlées de *P. reticulatum* avec la paille de *C. tora*

Les résultats d'analyse de corrélation (tableau 14) des différentes parties de graines brûlées de *P. reticulatum* avec la paille de *C. tora*.

La paille de *C. tora*, est négativement corrélée (-0,89) avec le nombre de graines à tégument brûlé. Ce qui indique que, plus la quantité de la paille de *C. tora* diminue, plus le nombre de graines à tégument brûlé augmente. La paille de *C. tora* est fortement corrélée (0,72) avec le nombre de graines calcinées

Le nombre de graines à embryon brûlé est corrélé (0,56) avec le nombre de graines à tégument brûlé. Le nombre de graines à embryon brûlé est négativement corrélé (-0,88) avec le nombre de graines calcinées. Le nombre de graines à tégument brûlé est négativement corrélé (-0,88) avec le nombre de graines calcinées

Corrélation entre les différentes parties brûlées de graines de *P. reticulatum* avec la paille de *P. pedicellatum*

Les résultats d'analyse de corrélation (tableau 15) des différentes parties de graines brûlées de *P. reticulatum* avec la paille de *P. pedicellatum*.

La paille de *P. pedicellatum* est fortement corrélée (0,78) avec le nombre de graines calcinées. La paille de *P. pedicellatum* est négativement corrélée (-0,77) avec le nombre de graines à tégument brûlé. Ce qui signifie que, quand la quantité de la paille diminue le nombre de graines à tégument brûlé augmente et inversement.

Le nombre de graines calcinées est négativement corrélé (-0,73) avec le nombre de graines à tégument brûlé et le nombre de graines à embryon brûlé (-0.60). Ce qui indique que, quand le nombre de graines calcinées augmente, le nombre de graines à embryon brûlé et le nombre de graines à tégument brûlé diminue et inversement.

DISCUSSIONS

Temps de brûlures

Les résultats obtenus pour le temps de brûlure de la paille des différentes espèces montrent que le temps de brûlure est un paramètre important à prendre en considération, par ce que plus le temps de brûlures est long, plus le risque de carbonisation des graines est élevé et plus la viabilité des graines est réduite. C'est ce qui explique en grande partie la carbonisation des graines à 60 g de paille des espèces utilisées et le nombre élevé de graines à embryon brûlé.

La quantité de paille et le type d'espèces, sont très importants dans le prétraitement des graines en vue de la levée de la dormance. Les résultats montrent que la paille de *C. tora* met plus de temps à brûler à 40 g et à 60 g que la paille de *P. pedicellatum* et d'*A. Pseudapricus*. Cependant la paille de *C. tora* pourrait avoir un pouvoir calorifique plus élevé que la paille des deux autres espèces, compte tenu de la lignification de sa paille. Ce qui pourra avoir des

conséquences très nettes sur les différentes parties de graines brûlées et les caractéristiques de la germination des graines des espèces agroforestières à tégument dur. Il a été reporté par Djigbodjafé et Ouinsavi (2019), que la haute température est un facteur limitant pour la germination des graines des espèces agroforestières à tégument dur. Au Niger Ado et al., (2017) ont eu des résultats favorables avec des prétraitements des graines de *Diospyros Mespiliformis* Hochst. Ex-A.DC trempé dans de l'eau chaude à 100°C pendant cinq minutes. Les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par Bamba et al., (2018) sur les graines de *P. erinaceus* avec des prétraitements du flambage et du trempage dans l'eau bouillante (100°C) en Côte d'Ivoire.

Les graines de *P. reticulatum*, *P. biglobosa* et d'*A. digitata* présentent des enveloppes dures qui influencent la germination. Ces téguments induisent également une germination hétérogène et dispersée. Un temps de brûlures plus long agit considérablement sur la viabilité des graines des espèces agroforestières à tégument dur, d'où la nécessité d'une modération du temps de brûlure de façon à ne pas réduire la viabilité des graines.

Effets de la quantité de paille brûlée de trois espèces sur les parties de graines du p. Reticulatum

Les résultats enregistrés sur les graines de *P. reticulatum*, montrent que les graines de *P. reticulatum* tolèrent moins la combustion de la paille de *C. tora* et d'*A. pseudapricus*. Le nombre de graines à tégument brûlé est beaucoup plus élevé avec la paille de *P. pedicellatum*. La paille de *P. pedicellatum* affecte moins les graines de *P. reticulatum* et pourra présenter une voie pour l'amélioration de la performance germinative de cette espèce.

*Tableau 3 : Corrélation entre les différentes parties brûlées de graines de *P. reticulatum* avec la paille d'*A. pseudapricus**

Pail	<i>A. pseudapricus</i>	Nb. grains à embryon brûlé	Nb. grains à tégument brûlé	Nb.grains calciné
Pail <i>A. pseudapricus</i>	1			
Nombre de grains à embryon brûlé	-0.4494	1		
Nombre de grains à tégument brûlé	-0.9122	0.0671	1	
Nombre de grains calcinés	0.9899	-0.3981	-0.9419	1

*Tableau 4 : Corrélation entre les différentes parties brûlées de graines de *P. reticulatum* avec la paille de *C. tora**

	Paille de <i>C. tora</i>	Nb. grains à embryon brûlé	Nb. grains à tégument brûlé	Nb. grains calcinés
Paille de <i>C. tora</i>	1			
Nbre de grains à embryon brûlé	-0.3728750	1.		
Nbre de grains à tégument brûlé	-0.8945873	0.5614825	1.	
Nbre de grains calcinés	0.7201114	-0.8811438	-0.8860234	1.

Tableau 5 : Corrélation des différentes parties de graines brûlées de *P. reticulatum* avec la paille de *P. pedicellatum*

	Paille de <i>P. pedicellatum</i>	Nb. grains à embryon brûlé	Nb. grains à tégument brûlé	Nb. grains calciné
Paille de <i>P. pedicellatum</i>	1			
Nbre de grains à embryon brûlé	0.2148	1		
Nbre de grains à tégument brûlé	-0.773465	-0.609	1	
Nombre de grains calciné	0.7896053	-0.08442051	-0.738286	1

Ces résultats abordent dans le même sens, que ceux obtenus par Seeber and Agpaoa (1976) aux Philippines sur les graines de *d'Aleurites moluccana* avec la paille de *Imperata*, mais aussi avec celui de Laurie, (1974) qui a eu recours au feu pour stimuler la germination des semences de *Tectona*. Il a été rapporté par Yélémou et al., (2007) que les graines de *P. reticulatum* présentent des enveloppes coriaces qui influencent la germination de l'embryon, d'où la nécessité d'un prétraitement. Ces téguments induisent une germination très étalée. Cette caractéristique peut permettre à l'espèce de s'adapter à la sécheresse et à l'irrégularité pluviométrique. Les graines de *P. reticulatum* semblent beaucoup moins affectées par la chaleur, ceci pourrait avantager la régénération naturelle de l'espèce.

Effets de trois espèces de pailles brûlées et de leur quantité sur les parties de graines brûlées d'*A. digitata*.

Ces résultats indiquent que la paille des espèces est de nature différente par conséquence, elle agit très différemment sur la partie embryonnaire des graines d'*A. digitata*. Selon Laurie, (1974) dans un certain nombre de pays, on a recours au feu pour stimuler la germination des graines. Il indique la nécessité d'avoir une certaine expérience pour contrôler la chaleur du feu de manière qu'elle ait un effet maximal sur le péricarpe sans pour autant endommager l'embryon.

Il existe une très grande variabilité à l'intérieur des espèces pour les différentes parties de graines touchées. La paille de *C. tora* à 60 g a obtenu le nombre de graines calciné le plus élevé, avec 41 graines. Alors nous pouvons dire que la paille de *C. tora* à 40 g et à 60 g ne convient pas, pour une amélioration de la performance germinative des graines d'*A. digitata*. Il a été rapporté par (<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-baobab-arbre-pharmacien-arbre-vie-317666/page/9/>. Un Baobab dans mon salon.) 2021), que les graines de baobab présentent une extrême dureté des téguments, ce qui a pour effet de la rendre imperméable à l'air, la lumière et l'eau. Alors le feu pourra être utilisé comme un moyen d'amélioration de la germination des graines d'*A. digitata* compte tenu du faible taux

des graines à embryon brûlé et du nombre de graines calcinées de la paille *P. pedicellatum* et d'*A. Pseudapricus*. La brûlure de la paille de *C. tora*, *P. pedicellatum* et d'*A. Pseudapricus* à 20 g et à 40 g ont eu moins d'effets sur le nombre de graines à embryon brûlé et de graines calcinées d'*A. digitata*. Il a été souligné par Lautenschläger et al., (2020) que la brûlure de la coque du fruit d'*A. digitata* permet une amélioration de la germination des graines dans les formations naturelles.

Evolution du taux de germination des graines à tégument brûlé de *P. reticulatum*

Le taux de germination obtenu pour le témoin est de 24 %, ce qui représente un taux de germination faible (ISTA 2009). Selon ISTA (2009) le taux de germination est considéré faible lorsqu'il est compris entre 21 et 40 %. Les résultats obtenus confirment les difficultés de régénération naturelle de *P. reticulatum*. Néanmoins, la réussite des phases de germination de cette espèce passe inéluctablement par une bonne connaissance de ses caractéristiques germinatives ainsi que de son comportement vis-à-vis des conditions du milieu. Ces résultats sont inférieurs à ceux de Assongba et al., (2013) obtenus sur les graines entières sans prétraitement de *Dialium Guineense* (tamarinier noir) au Benin, une autre espèce de la même famille des *Caesalpinaeae*, mais supérieurs aux résultats obtenus par SINA et al., (2020) sur les graines de *Acacia senegal* sans prétraitement au Niger.

Pour la paille de *C. tora*, à 20 g, le taux de germination obtenu est de 3,77 % qui est inférieur à celui obtenu par le témoin sans prétraitement, qui est classé comme très faible, inférieur à 20 % selon la classification de ISTA (2009). Ces résultats obtenus sont inférieurs à ceux de Jaouadi et al., (2010) sur les graines d'*Acacia tortilis* qui ont montré qu'une température de 25 °C permet d'améliorer le taux de germination, mais Sina et al., (2020) ont montré que le trempage des graines de *acacia senegal* dans l'eau bouillante à 100°C pendant 1mn 30s n'améliore pas les caractéristiques de la germination.

Pour la paille d'*A. pseudapricus*, à 20 g et à 60 g, aucune graine n'a germé sur l'ensemble des observations effectuées, ceci pourrait être dû à la puissance de la flammée de cette paille, mais surtout

les conditions environnementales. L'efficacité de la température pour lever l'inhibition tégumentaire d'autres espèces agroforestières avait été démontrée par plusieurs auteurs (Clatworthy, 1984 ; Grouzis, 1987 ; Vora, 1989). Toutefois, des graines soumises à une température pendant une longue durée peut endommager l'embryon et réduire les performances germinatives. La durée optimale de la température paraît être en rapport avec la dureté des téguments (Neffati, 1994). D'autre part, nos résultats corroborent avec ceux de Neffati et Akrimi (1997) qui ont signalé que les légumineuses des zones arides sont capables de germer sous une large gamme de températures.

A 40 g de paille le taux de germination observé est de 5,88 %, classé comme très faible selon la classification (ISTA, 2009).

En ce qui concerne la paille de *P. pedicellatum* à 20 g, avec un taux de germination de 1,14 %, les résultats obtenus par Bowen and Eusebio, (1981) dans l'Etat de Sabah sur d'*Acacia mangium* et d'*Albizia falcataria* sont supérieurs à nos résultats. Les résultats enregistrés sur le témoin et à 40 g de paille d'*A. pseudapricus* sont similaires à ceux obtenus par Garba et al., (2020) avec les graines de *Tamarindus indica* L prétraitées à eau bouillante, qui est une importante espèce agroforestière au Mali. Les résultats que nous avons obtenu sont inférieurs à ceux obtenus par Yelemon et al., (2007) sur les différents prétraitements des graines de *P. reticulatum* au Burkina Faso. Bationo, (1996) a rapporté que le mode de germination de *P. reticulatum*, est caractérisé par une germination épigée, c'est un critère de l'écologie de l'espèce, car fortement lié au milieu. Il a été rapporté par Bastide et Ouédraogo, (2009) que ce mode de germination confère à l'espèce une forte capacité à former des rejets de souche et donc une bonne adaptation aux feux et à la coupe. Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux de Habou et al. (2019) sur les graines de *Balanites aegyptiaca* avec un prétraitement des graines qui ont transité par le tractus digestif des chèvres qui réduit significativement la dormance tégumentaire.

La paille de *C. tora* à 20 g a montré une certaine amélioration du taux de germination des graines de *P. reticulatum* par rapport à la paille des deux autres espèces. Ce qui indique, un degré très élevé de la dureté du tégument des graines de *P. reticulatum* comparé aux graines de *P. biglobosa* et d'*A. digitata*, car la paille de *C. tora* a été considéré comme la paille qui est susceptible de causer plus de danger sur la viabilité des graines à tégument dur si la quantité de la paille est importante. Il a été rapporté par Yougouda et al., (2020) que les prétraitements à l'acide sulfurique et à l'eau bouillante permettent d'améliorer le taux de germination des graines de *acacia senegal* au Cameroun avec des taux de 52 % et 61 % respectivement. A la lumière de nos résultats

et les résultats des études antérieures, cela indique qu'il faut un type de prétraitement spécifique et adapté pour l'amélioration de la germination les graines de chaque espèce agroforestière.

Délai de la germination et l'échelonnement de la levée

Pour la caractérisation de la germination deux paramètres ont fait l'objet d'observation, le délai de la levée et l'échelonnement de la levée des graines à tégument brûlé.

Les graines de *P. reticulatum*, à 20 g de paille de *C. tora*, ont obtenu un délai de germination très rapide, selon la classification de SRBEA, (1977) cité par Korbo, (2020) et un échelonnement très groupé. En ce qui concerne la paille d'*A. pseudapricus* à 40 g le délai de la germination obtenu, est très rapide et un échelonnement de la levée très groupée. Ces

résultats sont conformes à ceux de Yélémon et al. (2007), mais inférieurs à ceux de (Korbo 2020) sur les différentes provenances des graines de *Saba senegalensis*. Ce ci montre que le feu, s'il est bien quantifié pourra contribuer à une amélioration significative des caractéristiques de la germination des graines des espèces agroforestières à tégument dur.

L'échelonnement dans le temps de la levée des graines est une stratégie d'adaptation des espèces à la forte variabilité de la pluviométrie (Bationo et al., 2001).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les graines *P. reticulatum* ont un tégument dur, ce qui les rendent imperméable à l'eau et à l'aire. Cette étude a montré que les effets modérés du feu peuvent être un déclencheur possible pour la réussite de la germination des graines de *P. reticulatum* jouent ainsi un rôle dans l'élimination des facteurs inhibiteurs. Notre étude a montré que les différentes parties des graines sont affectées différemment par la brûlure des pailles en fonction de leurs quantités et la nature de la paille de chaque espèce.

Les résultats obtenus indiquent, que la quantité de paille de *C. tora*, *P. pedicellatum* et *A. pseudapricus* brûlée affecte les graines de *P. reticulatum*, ont une forte corrélation négative sur le nombre de graines à tégument brûlé.

Le temps de brûlure dépend de l'espèce paille et de sa biomasse. Le plus long temps (4 mn 51s) a été obtenu avec la paille de *C. tora* à 60 g et le temps le plus court (1 mn 04 s) avec la paille d'*A. pseudapricus* à 20 g.

Pour les graines de *P. reticulatum*, le plus grand nombre de graines à tégument brûlé (88,7 graines) a été obtenu avec la paille de *P. pedicellatum* à 20 g et le plus petit (1,3 graines) avec la paille d'*A. pseudapricus* à 60 g. Le plus grand nombre de graines

à embryon brûlé a été enregistré avec la paille de *C. tora* à 20 g avec 38,7 graines et le plus petit (3,3 graines) avec la paille d'*A. pseudapricus* à 60 g. Pour le nombre de graines calcinées, la paille d'*A. pseudapricus* à 60 g a obtenu le plus grand nombre avec 95,3 graines et le plus petit a été obtenu sur la paille de *P. pedicellatum* à 20 g avec 0,7 graine. La paille de *P. pedicellatum* à 20 g semble être la mieux favorable pour les graines de *P. reticulatum*.

Le taux de germination le plus petit a été enregistré sur la paille de *P. pedicellatum* à 20 g avec les graines de *P. reticulatum* (1,14 %).

Pour les graines de *P. reticulatum*, le délai le plus court a été obtenu sur la paille de *C. tora*; *P. pedicellatum* à 20 g et le témoin avec chacun 2 jours et un échelonnement de 5; 2 et de 30 jours respectivement. Les graines de *P. reticulatum* semblent se prêter aux prétraitements avec la paille d'*A. pseudapricus* à 40 g. Le délai de germination le plus court et un échelonnement de la levée plus groupée ont été obtenu sur les graines prétraités.

Les données obtenues sont certes d'une importance capitale mais sont insuffisantes pour conclure que l'effet de la brûlure de la paille de *C. tora*, *P. pedicellatum* et *A. pseudapricus* peuvent améliorer significativement la performance germinative des graines *P. reticulatum*. Cette étude met en évidence l'importance de la puissance destructive du feu sur les graines si la quantité de la paille à enflammer est très élevée.

Pour une meilleure compréhension du phénomène de levée de dormance tégmentaire par le feu, il serait souhaitable de mener des études complémentaires sur:

- le pouvoir calorifique des différentes pailles mises en essai, pourvu la nécessité d'un prétraitement;
- mener des études similaires dans un milieu contrôlé tout en réduisant la quantité de la paille 430;
- inclure d'autres espèces agroforestières à tégment dur, existantes dans les systèmes agroforestiers traditionnels.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ado A, I H Bil-Assanou, D G Iro, T D A Karim, M Ali, et S Mahamane. 2017. « Effet De Prétraitements, De Substrats Et De Stress Hydriques Sur La Germination Et La Croissance Initiale De *Diospyros Mespiliformis* Hochst. Ex A.DC ». *European Scientific Journal, ESJ* 13 (21): 231. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p231>.
- Ammari S. 2011. « Contribution à l'étude de gémination des graines des plantes sahariennes broutées par le dromadaire ».
- Assongba Fy, Djègo Jg, Sinsin B. 2013. « Capacité de germination de *Dialium guineense* willd (Fabaceae) une espèce Agroforestière ». *Journal of Applied Biosciences* 62 (0): 4566. <https://doi.org/10.4314/jab.v6i20.86069>.
- Bamba N, Ouattara N B, Konan D, Bakayoko A, et Tra Bi F H.
2018. « Effets de cinq prétraitements sur la germination du vène (*Pterocarpus erinaceus* Poir, Fabaceae) dans la Réserve du Haut Bandama (Côte d'Ivoire) ». *European Scientific Journal, ESJ* 14 (30): 438. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p438>.
- Bastide B, et Ouédraogo S J. 2009. « Feux précoces et production fruitière de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. en zone sud soudanienne du Burkina Faso ». *Sécheresse* 20 (4): 388-93. <https://doi.org/10.1684/sec.2009.0212>.
- Bationo A B. 1996. « Étude de la régénération séminale des ligneux dans les jachères de sobaka (forêt classée de nazinün, Burkina Faso). Pour l'obtention du diplôme d'études approfondies (DEA) en sciences biologiques appliquées. », 72.
- Bationo B A, Ouédraogo S J, et Guinko S. 2001. « Longévité des graines et contraintes à la survie de plantules de *Afzelia africana* Sm. dans une savane boisée du Burkina Faso. » *Ann Sci For* n° 58: 69-75.
- Bationo B.A. 2002. « Structure et contraintes socioculturelles à la régénération des parcs agroforestiers à baobab dans le Plateau Central du Burkina Faso ». *INERA/ICRAF/ CRDI*, 2002, INERA/ICRAF/ CRDI édition.
- Bowen M R. and Eusebio TV. 1981. « *Acacia mangium*. Updated information on seed collection, handling and germination testing. » *Occasional Tech. and Scientific Notes, Seed Series No5, Forest Research Centre, Sepilok, Sabah, n° No5*.
- Clatworthy J N. 1984. « Recherche sur le pâturage au Zimbabwe. Recherche sur l'amélioration des pâturages en Afrique orientale et australe ». In: *Comptes-rendus d'un atelier tenu du 17 au 21 septembre 1984 à Harara, Zimbabwe. Ottawa: Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI)*, 25-61.
- Djigbodjafe D B, et Ouinsavi C. 2019. « Test de germination des graines de *Abrus precatorius* Linn au Bénin », 11.
- Garba A, Amani A, Saley K, Morou B, Sina AKS, et Mahamane A. 2020. « Effets des prétraitements sur la germination des graines de *Tamarindus indica* L. (Fabaceae-Ceasalpinoideae) en pépinière: proposition pour une restauration de l'espèce au sahel. » *Journal of Applied Biosciences* 149 (mai): 15362-78. <https://doi.org/10.35759/JABs.149.10>.
- Grouzis M. 1987. « Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'oursi, Burkina Faso). » *Thèse d'État: Université de Paris Sud, Centre d'Orsay (France)*.
- Habou M K A, Rabioù H, Abdou Li, Illiassou S A, Issoufou A S, Soumana A, et A Mahamane. 2019. « Germination et croissance des plantules d'une espèce fruitière indigène au Niger: *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. » *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (2): 693. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.10>.
- «<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-baobab-arbre-pharmacien-arbre-vie-666/page/9/>.Un Baobab dans mon salon. » 2021, juillet.
- ISTA. 2009. « Règles internationales pour les essais de semences. Bassersdorf ». *Suisse: Association Internationale d'essais de semences (AIES)*.
- Jaouadi W, Hamrouni L, Souayah N, et Khouja M L. 2010. « Étude de la germination des graines d'*Acacia tortilis* sous différentes contraintes abiotiques ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 10.
- Korbo A. 2020. « Contribution à la domestication de *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon. » 26 ème session de CP-JER.
- Laurie M V. 1974. « Méthodes de plantation forestière dans les savanes africaines ». *Collection*.
- Lautenschläger T, Teutloff N, Günther M, et Neinhuis C. 2020. « *Adansonia Digitata* Germination Tests. Elephants or Heat: What Causes Scarification of Seed to Facilitate Germination? » *Botanical Studies* 61 (1): 19. <https://doi.org/10.1186/s40529-020-00296-0>.
- Neffati M. 1994. « Caractérisation morpho-biologique de certaines

- espèces végétales nord africaines: implication pour l'amélioration pastorale. » Thèse de doctorat: Université de Gand (Belgique).
- Neffati M et Akrimi M. 1997. « Études des caractéristiques germinatives des semences de quelques légumineuses spontanées de la Tunisie steppique ». *Rev. Rég. Arides, NS*, 271-87.
- Rolston M P. 1978. « Water Impermeable Seed Dormancy ». *The Botanical Review*, n° 40: 365-96.
- Sanogo S, Sacandé M, Damme P V, et NDiaye I. 2013. « Caractérisation, germination et conservation des graines de *Carapa procera* DC. (Meliaceae), une espèce utile en santé humaine et animale ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11.
- Seeber G. and Agpaoa A. 1976. « Forest Tree Seeds. In Manual of Reforestation and Erosion Control for the Philippines », *German Agency for TechnicalCo-operation, Eschborn*, 473-535.
- Sina AKS, Morou B, Saley K, Garba A, et Mahamane A. 2020. « Suivi de la germination des graines et de la croissance de *Acacia senegal* en pépinière: Proposition pour une amélioration de la production des plants au Sahel ». *Afrique SCIENCE* 17 (1): 166-76.
- USAID. 2006. « The woody plant seed manual. Agriculture ». *Forest Service, United States Department of Agriculture (USDA), Washington D.C.*, 2006, Forest Service, United States Department of Agriculture (USDA), Washington D.C édition.
- Vora R S. 1989. « Seed germination characteristics of selected native plants of the lower Rio Grande Valley, Texas ». *Journal of range management* 42 (1): 36-40.
- Yélémou B, Yaméogo G, Millogo/Rasolodimby J, et Hien V. 2007a. « Gestion traditionnelle et usages de *Piliostigma reticulatum* sur le Plateau central du Burkina Faso ». *291 (1)*, 2007, BOIS ET FORÊTS DES TROPPIQUES édition.
- Yélémou, B, Yaméogo G, Millogo/Rasolodimby J, et Hien V. 2007b. « Germination sexuée et dynamique de développement de *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst, une espèce agroforestière du Burkina Faso. » *Sécheresse* 18 (3): 185-92.
- Yougouda H, Baye-Niwah Claudette H, Kepwa Fils Bill Franck Steve, et Mapongmetsem Pierre Marie. 2020. « Effet de Prétraitements sur la Germination des Semences d'*Acacia senegal* (L.) Willd. (*Mimosaceae*) dans la Zone Sahélienne du Cameroun ». *European Scientific Journal ESJ* 16 (3). <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n3p263>.
- G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529–551, April 1955.
- J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- I. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in *Magnetism*, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized”, *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

Prédition de l'Indice de Surface Foliaire du Sorgho à partir de l'Imagerie Multispectrale sous Densité de Semis et Fertilisation Azotée au Sahel

Joseph Sékou B. DEMBELE^{1,2*}, Mohamed DOUMBIA², Léonce Lamine DEMBELE², Mamoutou KOURESSY²

¹ Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), Bamako-Mali

²Institut d'Economie Rurale (IER), LABOSEP de Sotuba, Bamako BP 262, Mali

* joseph.dembele@yahoo.fr

RESUME : L'Afrique sahélienne devra relever le défi pour augmenter la production alimentaire selon le rythme de croissance de la population. L'utilisation de nouvelles méthodes de sélection et l'adoption des facteurs d'intensification sont des alternatives pour améliorer les techniques de sélection et d'accroître la production des cultures afin de répondre à cette situation. L'objectif de l'étude est de calibrer et valider l'indice de surface foliaire (LAI) du sorgho à différentes saisons de culture au Sahel. Pour atteindre cet objectif, deux essais de calibration avec 10 variétés de sorgho ont été installés au Sénégal en saisons des pluies 2017 (fertilisation azotée) et sèche en 2018 (stress hydrique). Cinq opérations de vol et de mesures de LAI ont été réalisées respectivement en 2017 et 2018. La validation du modèle a porté sur l'essai de densité de semis ($26\ 666\ \text{plants ha}^{-1}$ et $53\ 333\ \text{plants ha}^{-1}$) et fertilisation azotée ($0\ \text{kg ha}^{-1}$, $89\ \text{kg ha}^{-1}$ et $178\ \text{kg ha}^{-1}$) au Mali en saison des pluies 2018. La caméra multi spectrale et RGB (Red, Green and Blue) ont été embarquées simultanément sur le drone pour les prises d'images pendant les saisons de culture. Les indices de végétation calculés ont porté sur l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et le simple ratio (SR) ; et les mesures de terrain ont porté sur LAI. Les résultats de l'étude ont montré que l'évolution du NDVI et SR durant les dates de vol en saison des pluies 2017 et saison sèche 2018 au Sénégal était en parallèle avec la croissance du LAI mesuré à la même période. Une corrélation positive était observée entre NDVI et LAI mesuré et entre SR et LAI mesuré avec des coefficients de détermination (R^2) respectifs de 0,72 et 0,74 en 2017 et en 2018 au Sénégal. Les résultats de validation étaient modérés en saison humide 2018 sous densité de semis et fertilisation azotée au Mali.

Mots clés : Sorgho ; drone ; indice de végétation ; LAI ; Sahel.

INTRODUCTION

La production agricole doit doubler pour répondre la demande alimentaire de la population mondiale qui est supposée dépasser les 9 milliards d'habitants d'ici la période 2050 [1]. Pour satisfaire les besoins alimentaires de la population en croissance, le rendement des cultures céréalières était supposé atteindre une prévision annuelle d'environ 2,4 %, mais malheureusement le taux de croissance actuel est approximativement de 1,3 % par an. Ce qui révèle une stagnation du rendement des céréales sur près de 40 % des terres agricoles avec une nette diminution en Afrique sub-Saharienne [2]. La faiblesse de la productivité des céréales dans la zone est attribuée à la variation climatique combinée à la faible fertilité des sols et aux pratiques agricoles moins efficaces [3]. Dans le contexte de l'Afrique sahélienne, la faible disponibilité en azote, le manque de variétés améliorées résilientes et de densité de semis idéale sont les facteurs majeurs qui limitent la production du sorgho dans les contrés où la pluviométrie annuelle est variable suivant les saisons de culture [4]. Pour augmenter la production du sorgho par unité de surface, il est nécessaire de sélectionner des variétés productives qui adaptent à la densité de semis et fertilisation azotée optimisées [5], [6] .

La sélection variétale est probablement le moyen le plus efficace pour augmenter le rendement des cultures et de résoudre le problème de sécurité alimentaire en Afrique. Pour répondre aux besoins futurs et accélérer les progrès de la sélection, les sélectionneurs doivent développer des techniques pour collecter avec précision les caractères d'intérêt et évaluer les variations entre les variétés dans divers environnements agricoles [7], [8]. Cependant, les méthodes de sélection variétale employées dans les conditions de champ ont été conduites manuellement et reposent sur un phénotypage lourd et difficiles à reproduire [9]. Par conséquent, d'énormes progrès ont été réalisés pour améliorer efficacement les méthodes classiques de phénotypage sur le terrain [10]. Les nouvelles méthodologies de phénotypage développées au cours de ces dernières décennies offrent l'occasion de fournir de l'information non destructive sur un large nombre de variétés à temps réel, dans l'espace et à faible coût avec une forte résolution spatiale [11], [12]. Ainsi, les approches basées sur l'imagerie constituent une alternative pour répondre aux exigences des programmes de sélection en vue d'intensifier la culture du sorgho. Ces technologies donnent l'opportunité d'obtenir des images de qualité à des longueurs d'ondes spécifiques. Des études basées sur l'imagerie

multispectrale et RGB ont permis de développer divers indices de végétation pour estimer les paramètres de croissance des céréales sous stress hydrique, fertilisation minérale et densité de semis [13]. Ainsi, l'indice de surface foliaire (LAI) est une variable déterminante qui est fortement associé au couvert végétal, à la croissance des cultures, à l'interception de l'énergie lumineuse et au rendement grain [14]. Il est défini comme la surface totale des feuilles par unité de surface de sol. Son estimation est capitale pour la détermination de certains processus notamment la photosynthèse, l'évapotranspiration, la production primaire, les échanges de masse et d'énergie à différentes échelles [15].

Selon [16], le LAI est l'un des paramètres phénotypiques expliquant le mieux le rendement (grain et paille) des cultures et est fonctionnellement lié à la réflectance spectrale du couvert végétal. Des travaux antérieurs ont démontré l'intérêt de l'utilisation des indices de végétation dans la prédiction de LAI chez le maïs et le blé, mais peu de recherches ont été faites pour étudier cette variable chez le sorgho [17] sous densité de semis et fertilisation azotée par imagerie multispectrale. Grâce aux avantages apportés par cette technologie, il est indispensable de tester et de développer simultanément une méthode à partir de l'imagerie multispectrale pour évaluer l'indice de surface foliaire. Une meilleure connaissance sur l'indice de surface foliaire à partir de l'imagerie par drone peut être un moyen pour accélérer la sélection de nouvelles variétés de sorgho dans des conditions environnementales et des pratiques culturales variables et d'intensifier sa production au sahel. Cette présente étude a pour objectif de calibrer et de valider l'indice de surface foliaire à différentes saisons de culture au sahel. Il s'agit spécifiquement, d'étudier la relation entre l'indice de surface foliaire (LAI) et les indices de végétation sous stress hydrique ; d'établir un modèle de prédiction pour évaluer l'indice de surface foliaire sous densité de semis et fertilisation azotée.

MATERIELS ET METHODES

Sites expérimentaux

Deux essais de calibration étaient conduits en saisons pluvieuse 2017 et en sèche 2018 sur la station du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bambey ($14^{\circ}42'N$; $16^{\circ}28'W$) au Sénégal. Le climat du site d'étude est de type soudano-sahélien. La température moyenne mensuelle et le cumul de la pluviométrie annuelle observées en 2017 étaient respectivement de $30^{\circ}C$ et 436.7 mm. La température moyenne mensuelle enregistrée en saison sèche 2018 était de $28^{\circ}C$. Les expérimentations en saisons pluvieuse 2017 et sèche 2018 étaient conduites sur des sols de type sablo-limoneux (97.7 %) (Gano et al. 2021). Pour la

validation des modèles, les données de l'essai réalisées en saison pluvieuse 2018 sur la station de recherche agronomique de Sotuba au Mali ($12^{\circ}39'N$; $07^{\circ}56'W$). Le climat de Sotuba est de type soudano-sahélien. Le cumul de la pluviométrie annuelle enregistré en 2018 à Sotuba était de 840 mm et la température moyenne mensuelle était de $27^{\circ}C$. L'essai était conduit sur un sol de type sablo-limoneux (96.84 %) avec un faible taux d'argile, 3.85 % [19].

Matériel végétal

Dix variétés de sorgho contrastées pour différents caractères agro-morphologiques, physiologiques et phénologiques étaient utilisées en saisons pluvieuse 2017 et en sèche 2018 à Bambey pour la calibration des modèles. Elles sont constituées de trois variétés hybrides (FADDA, PABLO et NIELENI) et sept variétés à pollinisation libre (SOUMBA, GRINKAN, SOUMALEMBA, JAKUMBE, SAMSORG17, FAOUROU et F20-20). Ces variétés proviennent du Mali, Nigeria et Sénégal, et représentent la diversité des sorghos cultivés en Afrique de l'Ouest [20]. Pour tester la validation des modèles dans un autre environnement, nous avons utilisé les données collectées en saison pluvieuse 2018 à Sotuba au Mali à différentes densités de semis et fertilisation azotée sur huit variétés de sorgho de référence à l'intensification. Il s'agit des variétés hybrides FADDA et PABLO et des variétés à pollinisation libre SOUMBA, GRINKAN, C2_007-03, C2_075-15, A12-79 et TIEBILE [18]. Les variétés identiques utilisées pendant les deux expérimentations étaient FADDA, PABLO, SOUMBA et GRINKAN.

Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Essais de calibration

Le dispositif expérimental utilisé en saison pluvieuse 2017 était un split-plot avec comme facteur l'azote à trois niveaux (0 kg ha^{-1} , 100 kg ha^{-1} et 200 kg ha^{-1}) et dix variétés de sorgho en trois répétitions. Les lignes de semis étaient espacées de 60 cm et la distance entre les poquets était de 30 cm. La parcelle élémentaire avait 12 lignes de 4.5 m de long et 6.6 m de large. Le démarriage des plants a été fait 15 jours après semis à un plant par poquet. L'azote a été apporté en deux fractions, après démarriage à un plant par poquet (50%) et à l'initiation paniculaire (50%). Le phosphore a été apporté de façon homogène sous forme de triple superphosphate (45 % de P_2O_5) après semis. Les apports complémentaires d'eau étaient effectués par irrigation en cas de pause de pluie. L'essai en saison sèche 2018 au Sénégal était conduit en split-plot avec trois répétitions et deux facteurs dont le régime hydrique (irrigué et stressé) et les dix variétés de sorgho utilisées en 2017. Les lignes de semis étaient espacées de 60 cm et la distance entre les poquets

était de 30 cm. La parcelle élémentaire était constituée de 12 lignes de 4.5 m de long et 6.6 m de large. Le démarriage des plants était fait 15 jours après semis à un plant par poquet. Pour le régime irrigué, une quantité d'eau d'environ 25 mm était apportée par semaine jusqu'à la maturité physiologique. Pour le régime stressé, l'arrêt d'irrigation a commencé 30 jours après semis (stade végétatif) et a duré pendant trois semaines. Pour la fertilisation minérale, 150 kg ha⁻¹ de NPK a été apporté de façon homogène après semis et l'urée a été apportée à l'initiation paniculaire à raison de 50 kg ha⁻¹.

Essais de validation

L'essai en saison des pluies 2018 à Sotuba au Mali était conduit suivant un dispositif en split-split-plot avec trois facteurs et trois répétitions. Deux densités de semis (26 666 plants ha⁻¹ et 53 333 plants ha⁻¹) et trois niveaux d'azote (0 kg ha⁻¹, 89 kg ha⁻¹ et 178 kg ha⁻¹) ont été expérimentés sur huit variétés de sorgho. Les distances de semis étaient de 0.75 m entre les lignes et 0.50 m entre les poquets pour la faible densité et de 0.75 m entre les lignes et 0.25 m entre les poquets pour la forte densité. La superficie de chaque parcelle élémentaire était de 18 m² avec 6 lignes de 4.5 m de long et 4 m de large. Le démarriage des plants a été fait 15 jours après semis à un plant par poquet. L'azote a été apporté en deux fractions sous forme d'urée, vingt un (21) jours après semis (50 %) et à la montaison (50 %). L'application du phosphore a été faite de manière homogène en fumure de fond sous forme de phosphate naturel de Tilemsi (PNT) granulé (31 % de P₂O₅).

Collecte de données sur le terrain

La mesure de l'indice de surface foliaire (LAI) pour la calibration des modèles a été réalisée respectivement en phase végétative (deux mesures), à la floraison (deux mesures) et en début maturité durant les saisons pluvieuse 2017 et en sèche 2018 au Sénégal. Pour la validation des modèles, la mesure de LAI a été réalisée respectivement à la maturité en saison pluvieuse 2018 au Mali. Les différentes mesures du LAI ont été faites avec le Septomètre Sunscan (Delta-T Device Ltd) équipé d'un capteur externe de type BF5 sur une placette d'un mètre carré délimitée dans chaque parcelle élémentaire suivant la méthode de [21]. Toutes les mesures du LAI sur le terrain ont été effectuées juste après les vols du drone.

Acquisition de données avec la plateforme d'imagerie

Cinq opérations de vol de drone ont été effectuées au Sénégal en saison des pluies 2017 et en saison

sèche 2018. Un seul vol de drone était réalisé à la maturité en saison pluvieuse 2018 au Mali (Table 1). Le drone utilisé pour les prises d'images était un FeHexacopterV2 hexacopter (Flying Eye Ltd., www.flyingeye.fr) équipé de deux caméras dont la RGB (Figure 2B) et la multispectrale qui sont consécutivement fixées sur les deux axes de la platine à chaque vol. La caméra visible utilisée était de type RGB ILCE-6000 (Sony Corporation, New York, NY, USA) avec une résolution de 24.3-megapixel (6000 × 4000 pixels), équipée d'un objectif de longueur focale 30 mm. La seconde caméra était une caméra multispectrale (www.hiphen-plant.com, Avignon, France) équipée d'un objectif de longueur focale 8 mm et d'un système GPS intégré. La caméra multispectrale acquiert les images de 1280 x 960 pixels à six bandes spectrales indépendantes (450, 530, 560, 675, 730 et 850 nm) avec une résolution spectrale de 10 nm. Le vol a été réalisé vers midi à une altitude de 25 m au-dessus du sol avec une vitesse de 4.5m/s. Pour obtenir des valeurs de réflectance lors du traitement des images, une cible de calibration radiométrique (un panneau de moquette de 2.5 m²) était placée horizontalement sur le sol à une distance éloignée des plantes pour limiter les effets de proximité. En outre, comme points de contrôle géométrique au sol, six disques gris de 50 cm de diamètre ont été placés à différents angles du champ. Les positions exactes de ces cibles étaient déterminées à l'aide d'un GNSS-RTK avec une précision au centimètre près.

Traitements des images et extraction des indices de végétation

Les images prises à chaque date ont été concaténées pour générer une multicouche d'ortho-image géoréférencée à l'aide du logiciel Agisoft PhotoScan (PhotoScan Professional 1.4, Agisoft LLC, Russia). La calibration radiométrique et la correction géométrique de l'ortho-image ont été faites avec le logiciel Agisoft PhotoScan en utilisant la méthode proposée par [22]. La délimitation des parcelles élémentaires sur l'ortho-image à une date de vol donnée et le géoréférencement ont été faits avec le logiciel d'information géographique QGIS (version 3.2). L'extraction des valeurs moyennes de chaque indice de végétation pour chaque parcelle élémentaire était réalisée suivant les coordonnées GPS extraites à l'aide du logiciel QGIS. Les réflectances (ρ) calibrées dans le proche infrarouge (PIR), rouge (R) et vert (V) ont été extraites

Tableau 1: Périodes de prise d'images avec le drone durant les expérimentations au Sénégal et au Mali.

Essais	Stages	Jours après vol	Nombre de parcelles
Saison des pluies 2017, Sénégal (Calibration)	Végétative	35	90
	Végétative	49	90
	Floraison	63	90
	Fin floraison	77	90
	Maturité	91	90
Saison sèche 2018, Sénégal (Calibration)	Végétative	40	60
	Végétative	47	60
	Floraison	61	60
	Fin floraison	75	60
	Maturité	89	60
Saison des pluies 2018, Mali (Validation)	Maturité	100	144

Ces réflectances ont été ensuite utilisées pour calculer les indices de végétation par différence normalisée (NDVI) et simple ratio (SR). Le calcul des indices de végétation a été réalisé avec le logiciel R (version 3.6.0). Ces indices de végétation sont illustrés dans les équations suivantes (1) - (2) [23] - [24] :

$$NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R} \quad (1)$$

$$SR = \frac{\rho_{PIR}}{\rho_R} \quad (2)$$

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R, version 3.6.2 dans l'environnement (Venables, Smith and the R Core Team, 2019). Les modèles de régression étaient développés pour calibrer et valider l'indice de surface foliaire (LAI) en utilisant les indices de végétation NDVI et SR calculés à partir des images obtenues par drone. La calibration a porté sur les données de 690 parcelles élémentaires collectées en saisons des pluies 2017 et sèche 2018 au Sénégal (données terrain et drone). La validation du modèle a porté sur les données LAI de 120 parcelles élémentaires collectées à la maturité en saison des pluies 2018 au Mali. Le coefficient de détermination (R^2) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE, Root Mean Square Error) étaient calculés pour évaluer la performance des modèles de régression. Ces indicateurs de précision sont calculés selon les formules suivantes :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{n}} \quad (4)$$

Avec :

n: nombre d'observations ; y: valeur mesurée ;

\hat{y} : valeur estimée par drone ;

\bar{y} : moyenne de la valeur mesurée.

Les données de LAI mesuré et LAI prédis calculés à partir de NDVI et SR en saison pluvieuse 2018 ont été soumises à l'analyse de variance selon le modèle split-split-plot développé par (Carmer et al. 1989) Les moyennes des traitements ont été séparées en utilisant le test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS ou LSD en anglais) au seuil de significativité de 5%.

RESULTATS

Modèles de calibration au Sénégal en saisons pluvieuse 2017 et sèche 2018

Pour la calibration du modèle, nous avons utilisé les données collectées en saisons pluvieuse 2017 et sèche 2018 au Sénégal pour représenter l'évolution temporelle du LAI et des indices de végétation provenant du drone.

Dynamique de croissance de LAI, NDVI et SR du sorgho

Les résultats ont montré que les valeurs du LAI, NDVI et SR ont augmenté au cours des cinq dates de mesure en saisons pluvieuse 2017 et sèche 2018 au Sénégal (Figure 1). Les valeurs maximales de LAI étaient enregistrées à la floraison en 2017 (77 jours après semis, JAS) et 2018 (75 jours après semis, JAS), puis ont diminué avec la senescence des feuilles en début maturité (91 JAS en 2017 et 89 JAS en 2018). Cette réduction était plus accentuée en saison des pluies 2017 par rapport à la saison sèche 2018 (Figure 1). De façon globale, la valeur de LAI était plus élevée en saison sèche qu'en saison des pluies. Les indices de végétation NDVI et SR en saisons pluvieuse 2017 et sèche 2018 ont montré des tendances de dynamique de croissance identiques à celles de l'évolution du LAI mesuré à différentes dates de vol de drone. Le pic pour NDVI et SR a été obtenu à la fin floraison pour les deux années d'expérimentation et a légèrement diminué en saison sèche. Par contre une chute importante de NDVI et SR a été observée en saison pluvieuse (Figure 1).

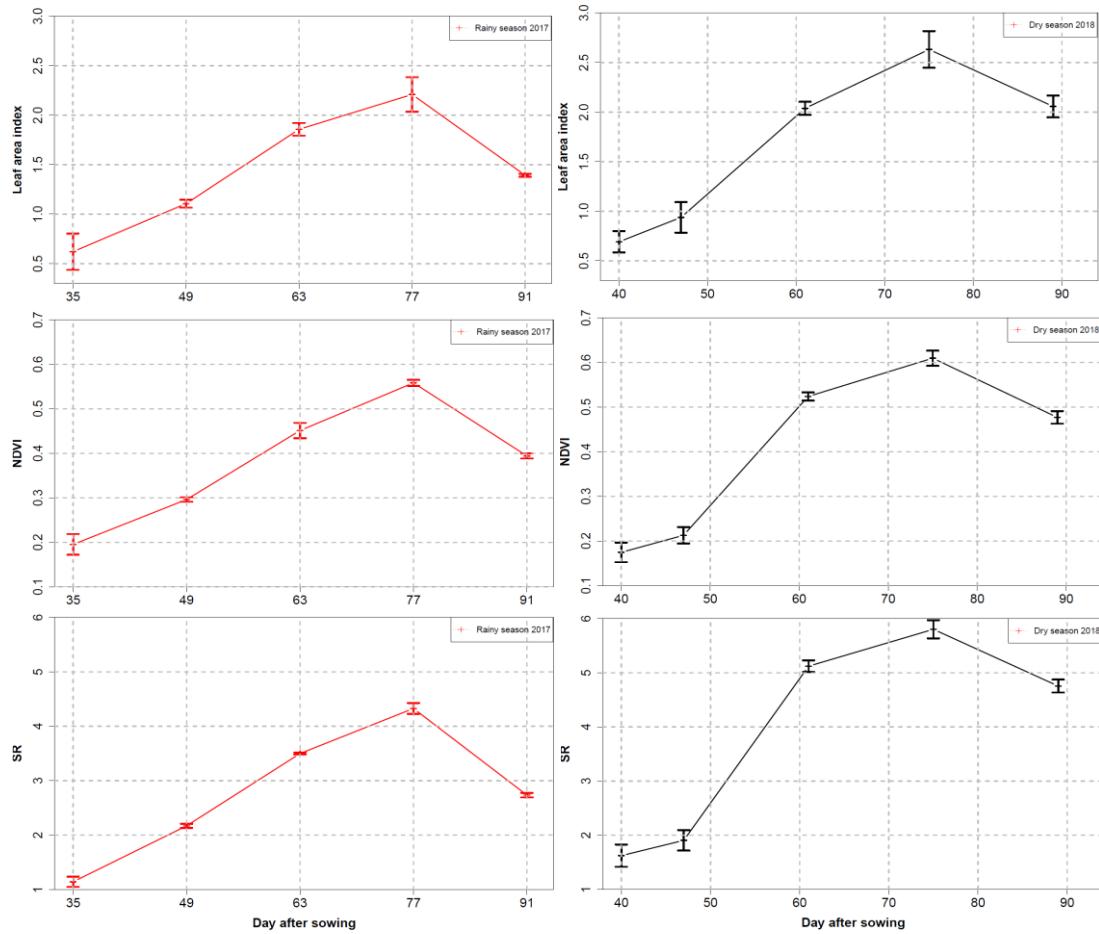


Figure 1 : Evolution de l'indice de surface foliaire (LAI), l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et simple ratio (SR) à différentes dates de mesure en saisons pluvieuse 2017 et chaude 2018 à Bambeay au Sénégal.

Relation entre indices de végétation et l'indice de surface foliaire

Le modèle de régression établie entre LAI mesuré et les indices de végétation (NDVI et SR) est présenté sur la Figure 2. Les modèles de régression utilisés étaient significatifs au seuil de 1% (Table 2). L'indice de végétation NDVI était corrélé au LAI mesuré avec un coefficient de détermination (R^2) de 0.72 (Figure 2a) et la valeur de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) était de 0.30 (Table 2). Les valeurs de NDVI se situaient entre 0.06 et 0.82. L'indice SR était corrélé au LAI mesuré avec un R^2 de 0.74 (Figure 2c) et un RMSE de 0.28 (Table 2). En outre, le SR avait des valeurs allant de 1.03 à 11.15 (Figure 4c). Les valeurs de LAI ont varié de 0.07 à 5.7 respectivement entre les variétés, les stades de développement et les années. Le modèle de calibration a permis d'obtenir une meilleure régression entre LAI calculés et LAI mesuré qui se rapproche de la ligne diagonale (1/1) (Figure 2b et d).

Prédiction de l'indice de surface à partir des indices de végétation en saisons pluvieuse 2018 au Mali

La Figure 3 représente la régression linéaire entre Le coefficient de détermination (R^2) pour la validation du modèle a été calculé et la capacité de

prédiction des indices de végétation à évaluer le LAI mesuré a été identifiée par l'erreur quadratique moyenne (RMSE). Les résultats de prédiction entre les LAI prédicts calculés à partir des indices de végétation (NDVI et SR) et LAI mesuré à Sotuba au Mali en saison des pluies 2018 étaient significatifs avec des valeurs modérées de R^2 pour NDVI ($p<0.01$, $R^2=0.61$ et RMSE=0.40) et SR ($p<0.01$, $R^2=0.58$ et RMSE=0.45) (Figure 3 a and b ; Table 2).

DISCUSSION

Cette étude a permis d'établir les relations entre l'indice de surface foliaire (LAI) et les indices de végétation (NDVI et SR) calculés à partir de l'imagerie multispectrale en saisons pluvieuse 2017 et sèche 2018 au Sénégal. Les modèles calibrés ont aussi permis d'obtenir une bonne prédiction du LAI en saisons pluvieuse 2018 au Mali.

Dynamique de croissance du LAI sous différentes conditions avec l'imagerie drone

Les résultats ont montré que les indices de végétation NDVI et SR étaient corrélés au LAI mesuré en saisons des pluies 2017 et sèche 2018 au Sénégal (Figure 1). En plus, le LAI mesuré et les indices de végétation NDVI et SR avaient atteint leurs valeurs maximales à la floraison, puis ont diminué en début maturité (Figure 1).

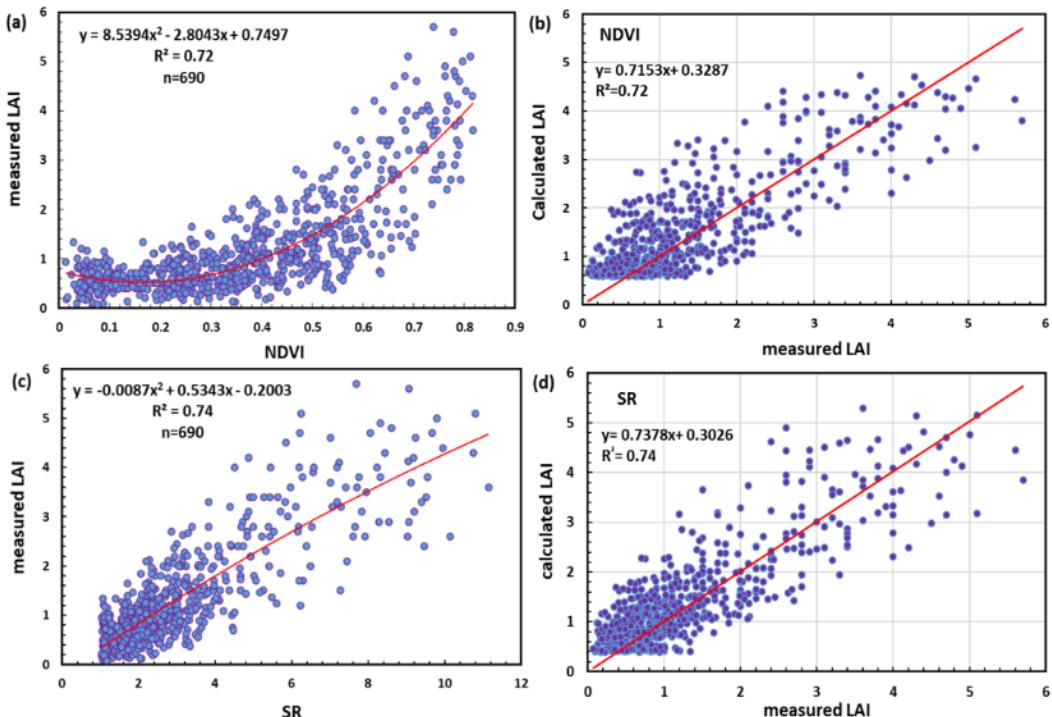


Figure 2 : Modèles de calibration entre LAI mesuré et indices de végétation (NDVI et SR) (a et c) ; et entre LAI mesurée et LAI calculés (b et d) en saisons pluvieuse 2017 et chaude 2018 à Bambey au Sénégal. NDVI, indice de végétation par différence normalisée ; SR, simple ratio ; LAI, indice de surface foliaire ; R^2 , coefficient de détermination.

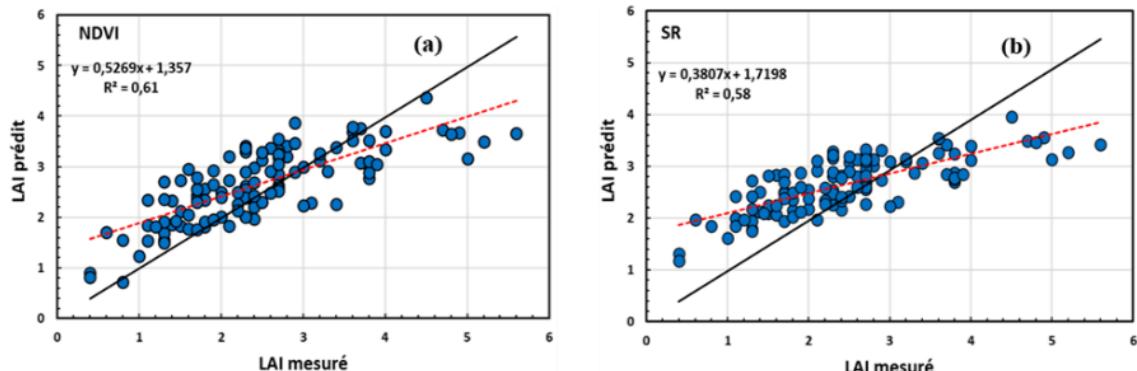


Figure 3 : Test de validation en saison pluvieuse 2018 entre l'indice de surface foliaire (LAI) mesuré et les LAI calculés à partir des indices de végétation NDVI (indice de végétation par différence normalisée) et SR (simple ratio) à Sotuba au Mali.

Tableau 2 : Regression models developed between vegetation indices (NDVI and SR) and leaf area index measured in Mali.

Test	Indices de végétation	Nombre d'échantillons	Traits	Modèle de régression	R^2	RMSE	P-value
Calibration (2017 and 2018, Senegal)	NDVI	n=690	LAI	$y = 8.697x^2 - 3.026x + 0.793$	0.72	0.3	<0.001
	SR	n=690		$y = -0.009x^2 + 0.532x - 0.185$	0.74	0.28	<0.001
Validation 2018 (Mali)	NDVI	n=120		$y = 0.535x + 1.316$	0.61	0.4	<0.01
	SR	n=120		$y = 0.402x + 1.685$	0.58	0.45	<0.01

Avec : NDVI, indice de végétation par différence normalisée; SR, simple ratio; LAI, indice de surface foliaire; R^2 , coefficient de détermination ; RMSE, l'erreur quadratique moyenne ; ** significative à 1% ; *** significative à 0.1 %.

La diminution des valeurs de LAI, NDVI et SR après floraison, était attribuée à la senescence des feuilles [27]. De nombreux travaux de recherche ont conclus que la senescence foliaire causerait une réduction du

NDVI due à l'augmentation de la réflectance dans le rouge et une diminution de celle-ci dans le proche infrarouge [28]. La senescence foliaire était observée dans d'autres études antérieures réalisées sous stress

hydrique et sous faible apport d'azote [29]. [30] ont montré qu'en plus du NDVI, le SR pouvait aussi être utilisé pour détecter la variation du LAI durant les saisons de culture. Nos résultats ont montré que les valeurs du LAI mesuré et celles de NDVI et SR étaient importantes en saison sèche 2018 par rapport à la saison des pluies 2017 (Figure 1). Selon [31], le semis tardif des variétés photopériodiques de sorgho pendant la saison pluvieuse provoque le raccourcissement de cycle avec une faible accumulation de matière sèche qui se traduit par une forte réduction de la biomasse paille et LAI.

Etablissement des modèles de calibration du LAI de sorgho sous différentes conditions

Dans cette étude, les relations entre NDVI et LAI mesuré, et entre SR et LAI mesuré en saisons humide 2017 et sèche 2018 au Sénégal étaient consistantes avec des coefficients de détermination (R^2) respectives de 0,72 et 0,74 (Figure 2). [32] ont démontré dans leurs travaux de recherche que ces indices de végétation seraient la meilleure option pour estimer les paramètres de croissance des cultures dans des environnements contrastés. Nos résultats ont également montré que les modèles de calibration réalisés sous stress hydrique en 2018 et fertilisation azotée en 2017 au Sénégal ont surestimé les valeurs du LAI mesuré avant la floraison. Par contre les valeurs du LAI mesuré étaient sous-estimées par les modèles de calibration en fin floraison et début maturité (Figure 2b and d). [33] ont attribué ce fait aux décalages temporels observés entre les mesures de LAI sur le terrain et celles du drone. D'autres travaux de recherche ont montré que la surestimation et la sous-estimation du modèle pouvaient être liées à la faible réflectance dans le rouge avant la floraison et dans le proche infrarouge en postfloraison [34], [35].

Modèles de prédition sous fertilisation azotée et densité de semis au Mali

La prédition des modèles linéaires réalisée en saison des pluies 2018 au Mali sous fertilisation azotée et densité de semis à la maturité, a globalement montré des valeurs modérées de coefficients de détermination de 0,61 et 0,58 respectivement pour les LAI prédits calculés à partir du NDVI et SR. Selon [32], une prédition modérée peut être due au nombre limité de plantes mesurées manuellement contrairement aux mesures du drone qui sont représentatives de l'ensemble des plantes de la parcelle élémentaire. Ainsi, la calibration réalisée en saisons des pluies 2017 et sèche 2018 au Sénégal n'était pas représentative des conditions climatiques et des pratiques culturales en saison humide 2018 au Mali. Il serait intéressant de faire une nouvelle calibration pour savoir si cette surestimation des modèles est imputée aux conditions pédo-climatiques ou aux pratiques de culture réalisées au Mali. Pour

s'assurer que ces indices spectraux peuvent être utilisés comme un outil dans la prédition du LAI [36] sous densité de semis et fertilisation azotée au Mali, une nouvelle calibration et validation du modèle serait nécessaire en utilisant les mêmes variétés dans différentes zones climatiques.

CONCLUSION

Les résultats présentés dans cette étude sur le sorgho ont montré que l'évolution des indices de végétation NDVI et SR reproduisait bien la dynamique de croissance de LAI mesuré. L'étude nous a permis de calibrer les modèles de régression pour estimer le LAI mesuré à partir des indices de végétation NDVI et SR à différentes saisons (pluvieuse 2017 et sèche 2018) et différentes pratiques culturales (azote en 2017 et stress hydrique en 2018) à différentes dates de vol au Sénégal. La prédition du LAI mesuré à partir du NDVI et SR était modérée à la maturité sous fertilisation azotée et densité de semis en saison des pluies 2018 au Mali.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. K. Ray, N. D. Mueller, P. C. West, and J. A. Foley, "Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050," *PLoS ONE*, vol. 8, no. 6, 2013.
- [2] J.B.D. McIntyre, H.R. Herren and R.T.W.J. Wakhungu, *Global report*, vol. 32, no. 10. 2001.
- [3] M. A. Altieri and C. I. Nicholls, "The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate," *Climatic Change*, vol. 140, no. 1, pp. 33–45, 2017.
- [4] M. Smale, A. Assima, A. Kergna, V. Thériault, and E. Weltzien, "Farm family effects of adopting improved and hybrid sorghum seed in the Sudan Savanna of West Africa," *Food Policy*, vol. 74, no. July 2016, pp. 162–171, 2018.
- [5] A. D. B. Leakey, E. A. Ainsworth, C. J. Bernacchi, A. Rogers, S. P. Long, and D. R. Ort, "Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: Six important lessons from FACE," *Journal of Experimental Botany*, vol. 60, no. 10, pp. 2859–2876, 2009.
- [6] A. Chawade, J. van Ham, H. Blomquist, O. Bagge, E. Alexandersson, and R. Ortiz, "High-Throughput Field-Phenotyping Tools for Plant Breeding and Precision Agriculture," *Agronomy*, vol. 9, no. 5, p. 258, 2019.
- [7] A. Hartmann, T. Czauderna, R. Hoffmann, N. Stein, and F. Schreiber, "HTPheno: An image analysis pipeline for high-throughput plant phenotyping," *BMC Bioinformatics*, vol. 12, 2011.
- [8] A. Wezel, M. Casagrande, F. Celette, J. F. Vian, A. Ferrer, and J. Peigné, "Agroecological practices for sustainable agriculture. A review," *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 34, no. 1, pp. 1–20, 2014.
- [9] S.C. Chapman, T. Merz, A. Chan, P. Jackway, S. Hrabar, M.F. Dreicer, E. Holland, B. Zheng, T.J. Ling, J. and Jimenez-Berni, "Pheno-copter: A low-altitude, autonomous remote-sensing robotic helicopter for high-throughput field-based phenotyping," *Agronomy*, vol. 4, no. 2, pp. 279–301, 2014.
- [10] L. Han, Z. Li, H. Yang, G. Yang, X. Yang, and B. Xu, "Clustering field-based maize phenotyping of plant-height growth and canopy spectral dynamics using a uav remote-sensing approach," *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, no.

- November, pp. 1–18, 2018.
- [11] A. Gracia-Romero, S.C. Kefauver, O. Vergara-Díaz, M.A. Zaman-Allah, B.M. Prasanna, J.E. Cairns and J.L. Araus., “Comparative performance of ground vs . aerially assessed rgb and multispectral indices for early-growth evaluation of maize performance under phosphorus fertilization,” vol. 8, no. November, pp. 1–13, 2017.
- [12] G. Yang, J. Liu, C. Zhao, Z. Li, Y. Huang, H.Yu, B. Xu, X. Yang, D. Zhu, X. Zhang, R. Zhang, H. Feng, X. Zhao, Z. Li, H. Li and H. Yang, “Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives,” *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, 2017.
- [13] F. Fiorani and U. Schurr, “Future scenarios for plant phenotyping,” *Annual Review of Plant Biology*, vol. 64, pp. 267–291, 2013.
- [14] P. J. Peper and E. G. McPherson, “Comparison of five methods for estimating leaf area index of open-grown deciduous trees,” *Journal of Arboriculture*, vol. 24, no. 2, pp. 98–111, 1998.
- [15] K. Soudani, J. Trautmann, and J. M. Walter, “Comparison of optical methods for estimating canopy openness and leaf area index in broad-leaved forests,” *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences - Serie III*, vol. 324, no. 4, pp. 381–392, 2001.
- [16] X. liang Jin, W. Y. Diao, C. H. Xiao, F.Y. Wang, B. Chen, K.R. Wang and S.K. Li, “Estimation of Wheat Agronomic Parameters using New Spectral Indices,” *PLoS ONE*, vol. 8, no. 8, 2013.
- [17] A.B. Potgieter, B. George-Jaeggli, S.C. Chapman, K. Laws, L.A. Suárez Cadavid, J. Wixted, “Multi-spectral imaging from an unmanned aerial vehicle enables the assessment of seasonal leaf area dynamics of sorghum breeding lines,” *Frontiers in Plant Science*, September, pp. 1–11, 2017.
- [18] J.S.B. Dembele, B. Gano, M. Kouressy, L.L. Dembele, M. Doumbia, K.K. Ganyo, S. B. Sanogo, A.Togola, K. Traore, M. Vaksman, N. Teme, D. Diouf and A. Audebert, “Plant density and nitrogen fertilization optimization on sorghum grain yield in Mali,” no. August, pp. 1–16, 2021.
- [19] J.S.B. Dembele, B. Gano, M. Vaksman, L.L. Dembele, M. Doumbia, N. Teme, D. Diouf and A. Audebert, “Response of eight sorghum varieties to plant density and nitrogen fertilization in the Sudano-Sahelian zone in Mali,” vol. 16, no. 10, pp. 1401–1410, 2020.
- [20] B. Gano, J.S.B. Dembele, A. Ndour, D. Luquet, G. Beurier, D. Diouf and A. Audebert, “Using UAV Borne , Multi-spectral imaging for the field phenotyping of shoot biomass, leaf area index and height of west african sorghum varieties under two contrasted water conditions,” 2021.
- [21] W. Wilhelm, K. Ruwe, M. R. Schlemmer, W. ; Wilhelm, and K. ; Ruwe, “comparison of three leaf area index meters in a corn comparison of three leaf area index meters in a corn canopy ‘comparison of three leaf area index meters in a corn canopy’ (2000). Publications from USDA-ARS / UNL Faculty,” 2000.
- [22] O. Roupsard, A. Audebert, A.P. Ndour, C. Clermont-Dauphing, Y. Agbohessouc, J. Sanoui,J. Koalaj, E. Fayek, D. Sambakhe, C. Jourdana, G. Mairem, L. Tall, D. Sanogo, J. Seghieri, L. Cournac, L. Lerouxo, “Agriculture , Ecosystems and Environment How far does the tree affect the crop in agroforestry ? New spatial analysis methods in a Faidherbia parkland,” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 296, no. October 2019, p. 106928, 2020.
- [23] J. W. Rouse and G. Space, “Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation,” *roceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, vol. 1, pp. 48–62, 1978.
- [24] A. A. Gitelson and T. J. Arkebauer, “Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops,” vol. 32, pp. 4–7, 2005.
- [25] W. N. Venables and D. M. Smith, “An Introduction to R,” vol. 2, 2019.
- [26] S. G. Carmer, W. E. Nyquist, and W. M. Walker, “(1989) Least Significant Differences for Combined Analyses of Experiments with Two- or Three-Factor Treatment Designs (AJ),” vol. 672, no. 11370, pp. 665–672, 1989.
- [27] S. R. Sultana, A. Ali, A. Ahmad, M. Mubeen, M. Zia-Ul-Haq, S. Ahmad, S. Ercisli, and H. Z. E. Jaafar, “Normalized difference vegetation index as a tool for wheat yield estimation: A case study from Faisalabad, Pakistan,” *Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [28] M. A. Naser, R. Khosla, L. Longchamps, and S. Dahal, “Using NDVI to differentiate wheat genotypes productivity under dryland and irrigated conditions,” *Remote Sensing*, vol. 12, no. 5, 2020.
- [29] W. R. Raun, J. B. Solie, G. V. Johnson, M. L. Stone, E. V. Lukina, W. E. Thomason and J. S. Schepers, “Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application,” *Agronomy Journal*, vol. 94, no. 4, p. 815, 2002.
- [30] L. Serrano, I. Filella, and J. Pen, “Remote Sensing of Biomass and Yield of Winter Wheat under Different Nitrogen Supplies,” pp. 723–731.
- [31] M. Kouressy, S. Sissoko, M. L. Tékété, S. Sanogo, S. Kamissoko, M. Doumbia, A. Sissoko, K. Théra, M. Dingkhun, A. S. Koné, M. Ouattara, M. Vaksman and N. Témé, “Chapitre 27. Sélection du sorgho pour une intensification durable au Mali,” *Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest*, no. January, pp. 337–352, 2020.
- [32] M. Hassan, M. Yang, A. Rasheed, X. Jin, X. Xia, Y. Xiao and Z. He, “Time-series multispectral indices from unmanned aerial vehicle imagery reveal senescence rate in bread wheat,” *Remote Sensing*, vol. 10, no. 6, 2018.
- [33] L. Malambo, S.C. Popescu, S.C. Murray, E. Putman, N.A. Pugh, D.W. Horne, G. Richardson, R. Sheridan, W.L. and R. Rooney, “Multitemporal field-based plant height estimation using 3D point clouds generated from small unmanned aerial systems high-resolution imagery,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 64, no. June 2017, pp. 31–42, 2018.
- [34] M. Din, W. Zheng, M. Rashid, S. Wang, Z. Shi, and E. H. Murchie, “Evaluating Hyperspectral Vegetation Indices for Leaf Area Index Estimation of *Oryza sativa* L . at Diverse Phenological Stages,” vol. 8, no. May, pp. 1–17, 2017.
- [35] Y. Gong, K. Yang, Z. Lin, S. Fang, X. Wu, R. Zhu and Y. Peng, “Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season,” *Plant Methods*, vol. 17, no. 1, pp. 1–17, 2021.
- [36] Y. Kang, M. Özdogan, S. Zipper, M. Román, J. Walker, S. Hong, M. Marshall, V. Magliulo, J. Moreno and L. Alonso, “How universal is the relationship between remotely sensed vegetation indices and crop leaf area index? A global assessment,” *Remote Sensing*, vol. 8, no. 7, 2016.

Effets de Différents Types de Composts sur la Germination et Vigueur des Plantes du Sorgho en Serre au Mali

Mahamoudou TRAORE¹, Karim DAGNO², Halimatou TIMBINE², Moussa KANTE³

¹IPR/IFRA, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou ;

²CRRA, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali, Email :

³Université de Ségou, FAMA, Mali

Corresponding e-mail : mahamoudoutraore85@gmail.com; moussa4ml@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Au Mali, une quantité importante des résidus agricoles sont détruits par les feux de brousse et l'érosion éoliennes alors que ces résidus sont un composant et atouts très importants pour l'application d'une agriculture durable. Une application d'engrais minéral dans un sol inorganique favorise davantage la détérioration des caractéristiques physicochimiques du sol. L'objectif de ce travail est de contribuer à la mise en place d'une agriculture durable à travers la gestion agro écologique des résidus de récolte sous forme de compost. Les différents substrats utilisés dans ce travail étaient la terre vrac, compost de profeba, et le compost issu de la production des champignons comestibles. La céréale évaluée sur ces types de compost a été le sorgho (Variété Tiandougou coura). Le dispositif expérimental était le bloc de Fisher composé de 3 traitements en 2 répétitions. Les résultats ont montré que la date de germination, le nombre de feuilles, le diamètre au collet ont été significativement influencé par le substrat à base de compost de champignons comestibles. Le traitement compost de champignons comestibles a obtenu la plus grande moyenne pour les 4 paramètres d'observation, et le traitement terre vrac a obtenu la plus petite moyenne pour les mêmes paramètres tandis que le substrat à base de PROFEBA n'a enregistré aucun résultat.

Cette étude vise à promouvoir des moyens nécessaires pour que ce compost trouve sa place dans un système agricole intégré qui permettra de valoriser, comme substrat de culture les déchets produits au niveau de nos exploitations agricoles.

Mots clés : compost de champignons comestibles, terre vrac, compost de profeba, céréale

INTRODUCTION

L'agriculture en Afrique subsaharienne est confrontée à de nombreux fléaux parmi lesquels la sécheresse et la dégradation des sols [1]. L'Afrique de l'Ouest connaît depuis plusieurs années des changements du régime pluviométrique qui se manifestent par des sécheresses de longue durée ou des inondations à des périodes inattendues[2].

L'agriculture doit permettre de récolter régulièrement des produits agricoles de qualité, en quantité suffisante tout en préservant les ressources naturelles et en respectant l'environnement [3]. Dans le contexte d'insécurité alimentaire, de réduction de la fertilité des sols et de la hausse des prix des engrains sur les marchés, il apparaît nécessaire d'utiliser pour l'agriculture les nutriments disponibles et à faible coût [4].

L'utilisation du compost comme substrat d'amendement du sol et de source d'amélioration de la structure du sol permet une meilleure disponibilité des nutriments pour les plantes [5]. Les composts issus de la production de champignons comestible est un sous-produit de la myciculture [6]. L'une des alternatives est de créer des opportunités et conditions favorables à la production et l'accès aux aliments sains en vue

d'atteindre le second Objectif de Développement Durable et assurer ainsi une sécurité alimentaire plus efficace. Par conséquent, l'emploi de l'engrais naturel tel que le compost, ne serait-il pas une alternative pour améliorer le rendement de différentes cultures ? Améliorer la productivité agricole couplé à la gestion durable des déchets ne pourrait-il pas être une solution à l'une des problématiques du moment en Afrique subsaharienne[7]

En effet, la connaissance de la diversité fongique dans le compost est essentielle pour déterminer son mode d'application optimal, son impact sur la fertilité du sol. D'où le choix de ce thème « *Effets de différents types de composts sur la germination et vigueur des plantes du sorgho en serre au Mali* ».

L'objectif général de cette étude est de contribuer au recyclage des résidus de récolte pour une agriculture durable au Mali. De façon spécifique, il s'agit de :

- Déterminer l'effet du compost à base de champignons comestibles sur la durée de germination et la vigueur du sorgho.
- Déterminer l'effet du compost industriel profeba sur la durée de germination et la vigueur du sorgho

MATERIELS ET METHODES

Matériel Végétal

Le matériel végétal est constitué de la variété du sorgho Tiandougou coura.

Test de germination

Pour le test de gémination, 100 graines de la variété de sorgho Tiandougou coura ont été semées dans trois boîtes de pétri contenant chacun un papier filtre légèrement humidifier pendant 72h.

- Comptage des grains :

Tableau 1 : Comptage des grains

N°	Sorgho
1	99
2	99
3	96
Moyenne	294
Taux de germination	98%

Préparation du substrat

Les substrats ont été composés de Terre vrac, Compost de champignon et Compost.

De Profeba. Après la préparation du substrat, les bacs ont été remplis avec le compost. Au total 6 bacs ont été remplis de 40kg chacun. Les bacs remplis ont été disposés en rangée de 3X 3. Cette disposition a pour objectif de faciliter les travaux d'entretien des jeunes plants (arrosage, désherbage, traitement phytosanitaire, etc...). Les bacs ont été abondamment arrosés avant le semis des graines et arrosés légèrement après le semis en ligne. L'arrosage quotidien se fera au besoin. Deux 2 graines ont été semées par poquet. Le bloc était constitué de sorgho Tiandougou-coura. Trois jours après le semis, les graines ont commencé à germer.

Installation de l'essai

L'essai a été conduit à la Station de Recherche Agronomique de Sotuba (CCRA/Sotuba). Il a été installé dans la serre phytopathologique du programme sorgho. Pour la réalisation de cette activité un facteur a fait l'objet d'étude, la fertilisation organique prise à deux niveaux de variation. Le compost champignon comestible, et le composte de PROFEBA. Le

dispositif expérimental utilisé était le bloc de Fisher en 2 répétitions ; chaque bloc constituant une répétition. Chaque répétition comporte 3 traitements composés au total 6 unités expérimentales

Semis

Le semis a été effectué manuellement en raison de 4 graines par poquet aux écartements de 25cm entre les lignes et 16cm entre les poquets. Trois jours après le semis, les graines ont commencé à germer.

Traitement et analyse des données

Les données collectées sur 3 variables retenues ont été saisies, vérifiées avec un tableur Excel version 2016. Le même logiciel Excel a servi aussi d'établir les histogrammes. Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique de la variance à un seul facteur de classification, cette analyse nous permet de comparer le comportement de la variété de sorgho sur les différents substrats testés. Lorsque cette analyse montre une différence significative, elle est complétée par le test de Student-Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5%. Le test SNK permet de constituer des groupes homogènes de traitement par comparaison de moyennes. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Genstat (Release 12.1)

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats

Nombre de poquets levés

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA des données sur la date de semis des graines première levée de sorgho ont révélé une différence hautement significative (probabilité<.001) entre les traitements (compost). La terre vrac TVRS a enregistré la plus grande durée de première levée du sorgho avec 4 jours suivi du compost PROFEBA TPS sur lequel il n'y a pas eu de levés par contre la plus courte durée a été observé chez le compost de champignons TVRMA avec 3 jours (Figure1)

Nombre de plants levés par poquet

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA ont montré une différence hautement significative (probabilité<.001) entre les nombres de plants par poquets de sorgho sur les différents substrats.

Tableau 2: Temps de germination

Source	ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Date de semis	2	32,67	16,33	18,37	0.003	35,4

Tableau 3 : Nombre de plants levés par poquet

Source	ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Nombres de plants levés par poquet	2	6,1035	3,0517	24,17	<.0001	31,5

Tableau 4 : variation de la vigueur des plants

Source	ddl	s.s	m.s	v.r	Fpr	CV
Date de semis	2	15,1920	7,5960	65,70	<.001	20,2

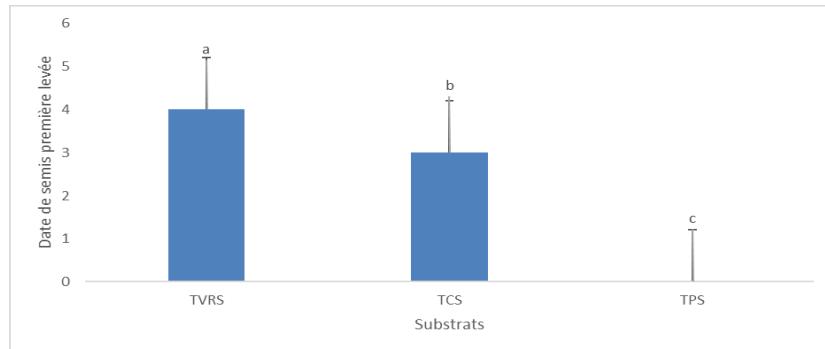


Figure 1: Evaluation du nombre de jours semis première levée. TCS : Compost de Champignons avec culture de Sorgho ; TVS : Terre Vrac avec culture de Sorgho ; TPS : Compost PROFEBIA avec culture de Sorgho.

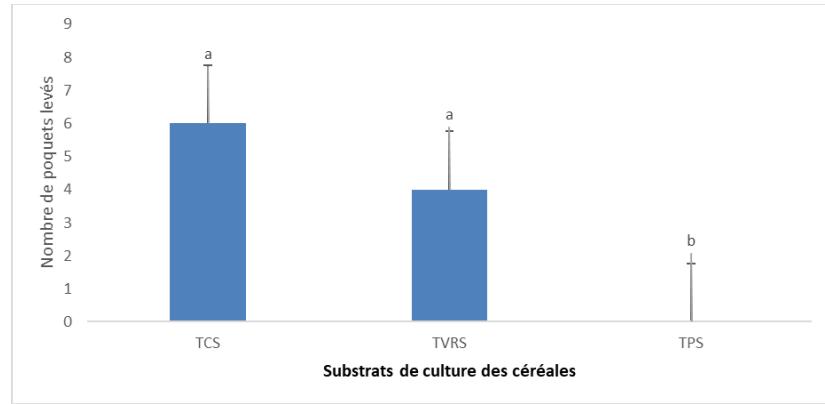


Figure 2: Variation du nombre de plants par poquets. TCS : Compost de Champignons avec culture de Sorgho ; TVS : Terre Vrac avec culture de Sorgho ; TPS : Compost de PROFEBIA avec culture de Sorgho

Les composts de champignons TCS ont enregistré le plus grand nombre avec 2 plants suivi de la terre vrac TVRS avec 1 plant en revanche le compost PROFEBIA TP n'a enregistré aucun nombre de plants par poquets (Figure 2).

Vigueur des plants à la levée

Les résultats de l'analyse statistique ont montré une différence significative (probabilité <0.019) entre la

vigueur des plants de sorgho sur les différents traitements (compost). Il y'a l'homogénéité entre le compost de champignon TCS et la terre vrac TVS avec les mêmes valeurs numériques. Les deux composts enregistrent les mêmes vigueurs avec 3 points c'était noté de 1 à 5 cependant le compost TPS n'a enregistré aucun plants (figure 3).

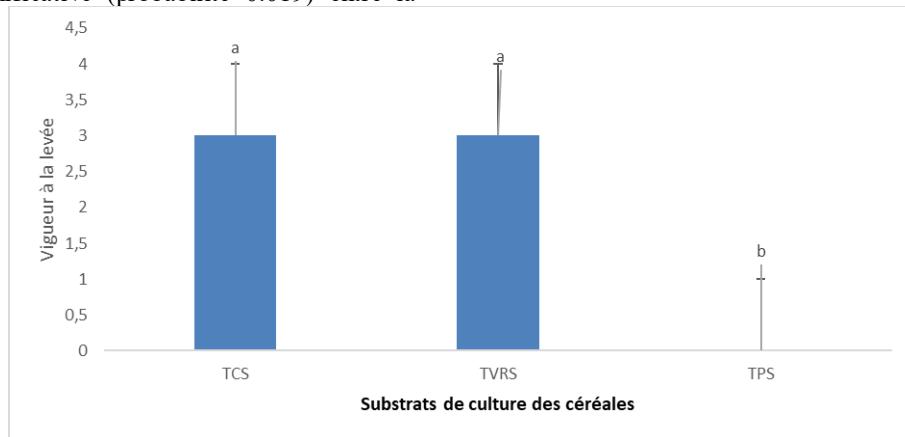


Figure 3 : Variation de la vigueur à la levée. TCS : Compost de Champignons avec culture de Sorgho ; TVS : Terre Vrac avec culture de Sorgho ; TPS : Compost de PROFEBIA avec culture de Sorgho.

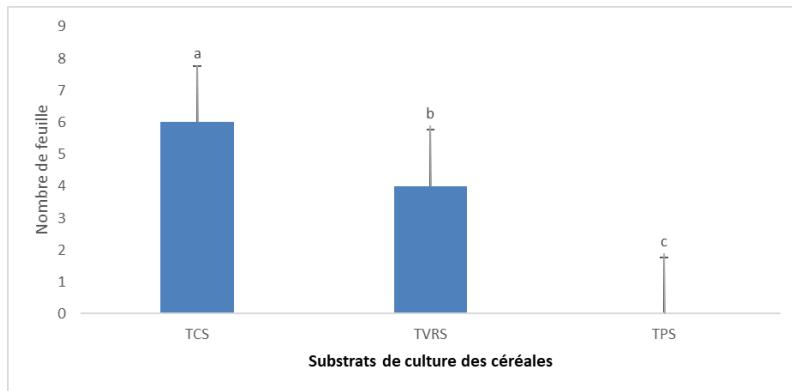


Figure 4: Variation du nombre de feuilles. TCS : Compost de Champignons avec culture de Sorgho ; TVS : Terre Vrac avec culture de Sorgho ; TPS : Compost de PROFEBA avec culture de Sorgho

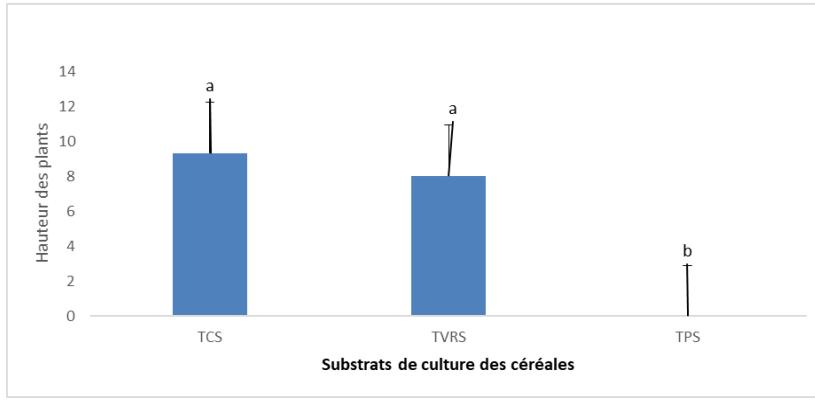


Figure 5 : Variation de la hauteur des plants. TCS : Compost de Champignons avec culture de Sorgho ; TVS : Terre Vrac avec culture de Sorgho ; TPS : Compost de PROFEBA avec culture de Sorgho.

Tableau 5 : Variation du diamètre au collet

Source	ddl	s. s	m.s	v.r	Fpr	CV
Date de semis	2	2,073956	1,036978	134,87	<.001	14,4

Tableau 6 : Variation du nombre de feuilles

Source	ddl	s. s	m.s	v.r	Fpr	CV
Date de semis	2	50,8889	25,4444	57,25	<.001	20,7

Diamètre au collet des tiges 30^{ème} jours après semis :

Les résultats de l'analyse statistique des données sur les diamètres aux collets ont montré une différence hautement significative (probabilité <.001) entre les traitements (compost). Le compost de champignons TCS a eu le plus grand diamètre au collet du sorgho avec 0,67cm suivi de la terre vrac TVRS avec 0,43 cm, par contre on n'a pas eu de plants sur le compost PROFEBA TPS (Figure 4)

Hauteur des plants 15 jours après semis

Les résultats de l'analyse statistique des données sur la hauteur des plants ont montré une différence significative (probabilité <0.002) entre les traitements (compost). Il y a une homogénéité entre le compost de champignons TCS et la terre vrac TVS avec une différence numérique. Le compost de champignons TCS a eu la plus grande hauteur des plants de sorgho avec 9,33cm suivi de la terre vrac TVRS avec 8,02 cm, par contre on n'a rien enregistré sur le compost PROFEBA TPS (Figure 5).

Nombre de feuille aux 30èmes jours après semis

Les résultats de l'analyse statistique ANOVA sur le nombre de feuilles ont montré une différence hautement significative avec une (probabilité <.001) entre les nombres de feuilles de sorgho sur les composts. Le compost de champignons TCS a enregistré le plus grand nombre de feuilles avec 6 feuilles suivi de la terre vrac TVRS avec 4 feuilles, par contre le compost PROFEBA TPS n'a enregistré aucun plants (figure 7).

DISCUSSION

L'évaluation de la qualité de trois types des composts (compost de champignon, terre vrac et compost de profeba) sur la germination et la vigueur des plants, l'analyse anova a montré que la plus courte durée de germination et de vigueur des plants a été enregistré sur le terreau de champignon et la terre vrac. Ceci corrobore aux travaux des auteurs qui ont rapporté que pour une gestion durable de la fertilité des sols, il est nécessaire de combiner les engrains minéraux, la fumure organique et les systèmes de culture [8] et confirme les travaux de l'auteur sur les composts à base de la tonte de gazon et des feuilles de taille des haies et des arbres améliorent le taux de germination des graines de *Phaseolus sp.* comparativement au terreau, il permet une meilleure croissance des racines et des tiges [9].

Quant à la hauteur des plants et le nombre de feuilles le terreau de champignons a enregistré la grande hauteur et le nombre de feuille. Contraire aux travaux de l'auteur sur l'effet positif des traitements

combinant la fumure organo-minérale (C+NPK et C+NPK+Th) ou la fumure minérale seule (NPK) ont permis d'avoir les meilleures croissances et les biomasses les plus importantes sur le niébé et le maïs [8] et contraire aux résultats de cette étude qui ont montré que le traitement T3 (combinaison RNA-fumier-NPK en microdose) a eu plus d'effets sur la hauteur des plants par rapport aux autres traitements sur le mil [10]

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] O. Toundou, « Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (Zea mays L. Var. Ikenne) et de la tomate (Lycopersicum esculentum L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo », PhD Thesis, Université de Limoges; Université de Lomé (Togo), 2016. Consulté le: 30 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01589050/>
- [2] O. Toundou, « Evaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (Zea mays L. Var. Ikenne) et de la tomate (Lycopersicum esculentum L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo », PhD Thesis, Université de Limoges; Université de Lomé (Togo), 2016. Consulté le: 30 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01589050/>
- [3] L. Anatole-Monnier, « Effets de la contamination cuprique des sols viticoles sur la sensibilité de la vigne à un cortège de bio-agresseurs », PhD Thesis, Bordeaux, 2014. Consulté le: 30 mai 2024. [En ligne]: <https://www.theses.fr/2014BORD0378>
- [4] L. B. Longanza, L. K. Kidinda, D. T. Tamina, A. T. Jacob, et M. T. Ikatalo, « Valorisation agricole des déchets comme alternative à leur gestion dans les villes d'Afrique subsaharienne : caractérisation des déchets urbains à Lubumbashi et évaluation de leurs effets sur la croissance des cultures vivrières », *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, vol. 11, n° 2, p. 76-84, 2015.
- [5] T. L. A. Remadna Narimane, « Contribution à l'évaluation qualitative d'un compost d'origine mixte. Cas de la région de Biskra », mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie Département des sciences de la nature et de la vie, 2020. Consulté le: 31 mai 2024. [En ligne]: http://archives.univbiskra.dz/bitstream/123456789/16565/1/REMADNA_Narimane_toumi_Lina_Assala.pdf
- [6] B. Nouha et H. Djanette, « Crédit à une entreprise de culture et de commercialisation des champignons comestibles Pleurotus ostreatus », Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Algérie, 2020. Consulté le : 9 juin 2024. [En ligne]: <https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2020/Cr%C3%A9ation%20d%20une%20entreprise%20de%20culture%20et%20de%20commercialisation%20des%20champignons%20comestibles%20Pleurotus%20ostreatus.pdf>
- [7] B. Dagno, K. Coulibaly, M. K. Kante, et S. Mariko, « Problématique de la gestion des déchets solides dans la commune IV du district de BAMAKO », *Revue*

- Internationale du Chercheur*, vol. 4, n° 3, 2023, Consulté le : 31 mai 2024. [En ligne]: <https://www.revuechercheur.com/index.php/home/article/vie w/693>
- [8] E. Ouedraogo et E. Hien, « Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichoderma harzianum* (rifai) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, n° 3, p. 1330-1340, 2015.
- [9] R. I. Kouadri Hanane, « Effet d'un compost à base de sarments de vigne et de la tonte du gazon sur la croissance et le rendement de la tomate », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme du Master, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre, Algérie, 2019.
- [10] A. M. Manssour, L. Abdoukkadri, M. B. A. Haboubacar, E. S. Djibo, A. Ali, et A. M. Zoubeirou, « Impact De La Combinaison Regeneration Naturelle Assistee (Rna) Et Engrais En Microdose Sur La Productivite Du Mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Br.) Au Niger », *European Scientific Journal*, vol. 16, n° 9, 2020, doi: 10.19044/esj.2020.v16n9p82.

Compétitivité entre les Différents Systèmes de Riziculture au Mali

Kadiatou MALLE¹, Dioukou SISSOKO², Bakary SAGARA¹, Bouréma KONE², Assan KANTE³, Ousmane N. COULIBALY⁴, Amoro COULIBALY¹

¹ Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou ;

² Institut d'Economie Rurale,

³ SAA/SAFE Mali ;

⁴ IITA, Bénin

RESUME : Plusieurs systèmes de riziculture sont pratiqués au Mali. Cette étude a pour objectif d'identifier les systèmes de riziculture disposant un avantage comparatif pour concurrencer les importations de riz. Les systèmes de riziculture de bas-fond de Nièna, avec maîtrise totale de l'eau au niveau de Sélingué et de Baguinéda et à submersion contrôlée au niveau de Dioro, sont retenus pour l'étude. Une enquête a été menée auprès d'un échantillon total 546 sujets, dont 223 rizicultrices, 13 décortiqueurs 100 commerçants 7 importateurs, 11 hôteliers, 67 restaurateurs, 125 ménages. Les données ont été collectées en 2015, 2016 et 2017. La Matrice d'Analyse des Politiques a été utilisée pour analyser les données collectées. Les résultats ont montré que, seul le riz étuvé de la localité de Nièna est compétitif et peu concurrencer le riz étuvé importé à Bamako. Pour améliorer la compétitivité de la production du riz des trois systèmes, l'Etat doit réhabiliter les pleines de Nièna et ses ouvrages d'irrigation et de drainage, faciliter l'accès des femmes de la localité aux variétés améliorées de riz qui donnent du riz étuvé de qualité. Dans l'ensemble, l'Etat doit vulgariser des nouvelles technologiques et accompagner les acteurs durant la production et l'étuvage et planter des rizieres industrielles dans les grands centres de production du riz en vue d'améliorer sa qualité au décorticage.

Mots clés : *Riz local malien, compétitivité, subvention, taxation.*

INTRODUCTION

La filière riz joue un rôle déterminant dans la sécurité alimentaire, la création d'emploi et la croissance économique [1]. La production, la transformation et la commercialisation du riz et de ses dérivés font intervenir un nombre n'important de personnes défavorisées ou vulnérables (jeunes déscolarisés, femmes) travaillant individuellement ou en groupement. La consommation annuelle de riz par habitant au Mali a été multipliée par environ 7 de 1961 à 2013, passant de 11 à 81,61 kg en moyenne [2, 3, 4, 5]. Les besoins de consommation en riz augmentent de 7,5 % en moyenne par an depuis 1995 [6,7].

Le riz étuvé (RE) est également un produit auquel les Maliens sont attachés. Sa demande, était exprimée essentiellement au niveau de certains bassins de production de riz (Mopti et Sikasso) et faiblement dans des grandes villes. Depuis les années 2010, le riz étuvé est de plus en plus demandé dans les villes [7]. Les importations de riz (76% venant d'Asie) ont augmenté de 7 % de 2010 à 2017 [2, 8]. Dans l'importation du riz, entre 2006 et 2011, le gouvernement du Mali a dépensé en moyenne, 25 milliards de F CFA par an [3].

Au Mali, le taux de couverture des besoins annuelle nationale de riz, fluctue autour de 85% en moyenne [4]. Par conséquent, il est important pour le pays de développer la riziculture afin de réduire sa dépendance alimentaire vis-à-vis de l'extérieur et en même temps améliorer les conditions de vie des

populations. La promotion du riz malien passe par l'amélioration de sa qualité, tant pour la sécurité alimentaire que pour la promotion de l'économie nationale, la compétitivité sur le marché régional et international.

Cette étude a pour objectifs de déterminer la compétitivité du riz local malien des systèmes de riziculture, de bas-fond de Nièna, avec maîtrise totale de Sélingué et Baguinéda et à submersion contrôlée de Dioro. D'identifier le système pour lequel le pays a un avantage comparatif dans la production du riz étuvé vendu à Bamako.

METHODOLOGIE

Choix des sites

L'étude a été menée au Mali dans quatre localités appartenant à 4 régions du Mali: Nièna (région de Sikasso), Sélingué (région de Bougouni), Dioro (région de Ségou), Baguinéda (région de Koulikoro). Ces localités ont été choisies parce qu'elles sont des localités d'approvisionnement potentielle de Bamako en Riz Etuvé Local (REL). Le principal critère de sélection de ces localités est leur accessibilité en toutes saisons.

Choix des enquêtés

Les enquêtés a été ont été choisis de façon raisonnée par maillon et selon leur consentement à répondre aux questions. Ces enquêtés étaient :

Les producteurs : 223 producteurs répartis comme suit : 133 rizicultrices à Nièna et 30 riziculteurs à Dioro, Baguinéda et Sélingué.

Les transformatrices : 3 groupements d'étuveuses : celui de la Plateforme Multi-Acteur (PMA) Djiguifa des femmes de Nièna, la coopérative Benkadi du quartier Lafiabougou de Sélingué et la coopérative Djèka-Baara de Dioro. L'étuvage n'étant pas développé à Baguinéda. Cette localité n'est retenue au niveau de ce maillon.

Commerçants : 87 commerçants répartis comme suit : 10 à Dioro, 10 à Sélingué, 20 à Nièna, 47 à Bamako dont 7 Importateurs. Ne disposant pas de liste des commerçants, la méthode d'échantillonnage en boule de neige a été utilisée.

Collecte des données

Les données ont été collectées de juin 2015 à février 2017 principalement par des étudiants finalistes de l'IPR/IFRA de Katibougou sous forme de stage (1 ingénieur agronome, 2 licenciés en agroéconomie et 1étudiante à la maitrise en vulgarisation).

Les données ont été collectées grâce à des entretiens. Au besoin, les enquêteurs ont observé les acteurs en activité et visité les installations. Trois types de questionnaires ont été conçus. Ils ont été administrés à raison d'un questionnaire par types d'acteurs.

Production du paddy, les données collectées étaient relatives aux variétés utilisées, aux modes de labour et de semis pratiqués, la quantité et le coût des intrants (engrais, pesticides, semences), au coût de la main-d'œuvre, au petit matériel utilisés, au rendement, au prix de vente du paddy.

Etuvage, les données collectées sont relatives au coût d'acquisition du paddy, aux équipements d'étuvages utilisés, aux intrants utilisés (eau, bois), à la main-d'œuvre utilisée, au prix de vente du RE etc.

Commercialisation, les données collectées sont relatives au coût d'acquisition du RE, les coûts de transport et de manutention, les taxes payées, les taux de changes, les taux d'intérêt etc.

Analyse des données

La Matrice d'Analyse des Politiques ou MAP (tableau 1) est utilisée pour l'analyse des données en vue de déterminer la compétitivité du REL des localités par rapport Riz Etuvé Importé (REI) tous vendus à Bamako. La statistique descriptive est utilisée pour déterminer les moyennes. Le logiciel Excel a été utilisé pour les analyses de données.

La MAP a été utilisée dans plusieurs études de compétitivité par exemple pour la détermination du marché européen le plus compétitif pour les chaînes de valeur crevette fraîche ou fumée béninoises [9]. Elle a aussi été utilisée dans l'analyse de la compétitivité du riz local par rapport au riz importé en Guinée [10] ; pour évaluer la compétitivité de la riziculture béninoise [11] ; dans l'analyse de la compétitivité des systèmes traditionnel et moderne d'élevage de volaille au Bénin [12].

Au Mali, la MAP a été utilisé dans trois études pour déterminer la compétitivité du riz. Deux ont été menées en 2004 et 2011 sur la compétitivité du riz à l'Office du Niger et une sur celle du riz de tous les systèmes de rizicultures au Mali en 2004 [6, 13, 2].

Le tableau de la MAP comprend deux budgets. Un budget financier où les biens sont évalués aux prix du marché ou prix financiers et un budget économique où ils sont évalués à leur coût d'opportunité ou prix économique. A, B, C et D sont les éléments du budget financier ; et E, F, G et H sont ceux du budget économique. Les écarts entre le budget financier et le budget économique sont I, J, K et L.

Mesure de la rentabilité privée, sociale et transferts nets

- Profit financier net :

Il est donné par (1) :

$$D = A - B - C \quad (1)$$

Avec : D est le Profit Financier Net (PFN). S'il est positif $\Rightarrow PFN > 0$, alors le système de production considéré est financièrement rentable. Cela signifie que le système étudié est rentable pour les acteurs et qu'ils utilisent efficacement ses ressources.

- Profit économique net

Il est donné par (2) :

$$H = E - F - G \quad (2)$$

Avec : H est le Profit Économique Net (PEN). Si $PEN > 1$, l'activité est économiquement rentable ou rentable pour la société

- Transferts de revenus (I)

Il est donné par (3) :

$$I = A - E \quad (3)$$

- Transferts des intrants échangeables (j)

Il est donné par (4) :

$$J = B - F \quad (4)$$

- Transferts des intrants non échangeables (K)

Il est donné par (5) :

$$K = C - G \quad (5)$$

Tableau 1 : Matrice d'Analyse des Politiques (MAP)

Budget	Revenu	Coût		Profit
		Intrant échangeable	Intrant non échangeables	
Budget Financier	$A = P_f * Q_f$	$B = * Q_t$	$C = P_n * Q_n$	D
Budget Economique	$E = P_e * Q_e$	$F = P_i * Q_i$	$G = P_d * Q_d$	H
Divergences	I	J	K	L

Avec : P, est le Prix et Q la est Quantité, Source : Monke, et Pearson, (1989) dans (Diawara *et al.* 2011 ; Aquilas *et al.* 2013 ; Sodjinou et Aboh 2009)

- Transfert net L

Il est donné par (6a) - (6b) :

$$L = D - H \quad (6a)$$

$$L = I - J - K \quad (6b)$$

Mesure de la compétitivité ou avantage comparatif

L'avantage comparatif ou compétitivité est mesuré principalement par le coût des ressources internes (CRI). Il mesure l'efficacité d'un système évalué au prix de référence (7a) - (7b):

$$CRI = \frac{G}{E - F} \quad (7a)$$

$$CRI = \frac{P_d * Q_d}{P_e * Q_e - P_i * Q_i} \quad (7b)$$

Si :

- $CRI < 1$

La production du bien considéré (avec un niveau de technologie donné) a un avantage comparatif et est économiquement efficace. La production du bien considéré à un avantage comparatif dans la mesure où il utilise moins de facteurs de production qu'il ne génère de valeur ajoutée. Un tel système permet d'économiser des devises. Ainsi, la production domestique du bien considéré est plus avantageuse que son importation.

- $CRI > 1$

Il est avantageux d'importer le bien que de le produire sur place. Sa production utilise plus de ressources intérieures (travail, capital) qu'il ne génère de valeur ajoutée.

- $CRI = 1$

Cela veut dire qu'il n'y a ni bénéfice ni perte en produisant localement ou en important le bien considéré.

Mesure de l'incitation à la production

- Le coefficient de protection nominale (CPN)

$$CPN = \frac{A}{E} \quad (8)$$

Le CPN pour les produits les intrants échangeables mesure la motivation des producteurs à exercer une activité. Il est le rapport entre le prix du marché et prix de référence pour les produits ou les intrants échangeables.

Si :

- $CPN > 1$: Il indique que les produits ou les intrants échangeables sont subventionnés.
- $CPN < 1$: Les produits ou les intrants échangeables sont taxés.

- Le Taux de Subvention Producteur ou *TSP* Il mesure le degré de subvention ou de taxation d'un le système de production. Il est donné par (9)

$$TSP = \frac{L}{E} \quad (9)$$

- Equivalent de la subvention à la production (ESP)

Il est la subvention ou la taxe à appliquer à un système de production permettant au producteur d'avoir bénéfice stable (dans les distorsions, les imperfections du marché). Il est donné par (10)

$$ESP = \frac{L}{A} \quad (10)$$

- Coût de la main-d'œuvre

Le coût des différentes opérations culturelles (semis, sarclage, récolte) a été calculé à partir des coûts de la main-d'œuvre salariale. Le coût de la main-d'œuvre familiale a été évalué à son coût d'opportunité. Pour cela le salaire minimum a été retenu (SMIG).

$$\begin{aligned} \text{Coût de la main_d'œuvre} = \\ \text{coût main}_d\text{'œuvre salariée} + \\ \text{coût main}_d\text{'œuvre familiale} \end{aligned} \quad (11)$$

- Coût financier

Le prix courant, ou le prix sur le marché a été retenu comme prix financier des intrants utilisés. Il a été directement considéré pour l'évaluation du budget financier.

- Coût économique

Le prix économique des intrants échangeables est le prix à la frontière du Sénégal. Les engrains et les pesticides ont été pris comme intrants échangeables. Le prix de parité du RE est calculé à partir du prix FOB du REI d'Inde, qui était de 395\$ US la tonne (taux de change du dollar en au moment des calculs 1\$ US= 480 F CFA).

Tableau 2 : Résumé des comptes d'exploitations de la production de riz sur 1ha dans les localités

Désignation		Baguineda	Selingué	Dioro	Nièna
Charges (%)	Intrants	29,85	31,83	36,51	36,41
	Opérations culturelles	56,50	57,11	51,23	52,92
	Transport -plants, récolte	4,82	-	-	-
	Nourriture des bénévoles	-	-	-	6,20
	Charges fixes	8,83	11,06	12,26	4,48
	Total	100	100	100	100
Valeur ajouté (CFA)		299 970	421 850	18 1800	439 000
Ratio bénéfice/coût (CFA)		0,45	0,79	0,61	0,48
Coût de production du kg (CFA)		106,74	89,55	77,72	101,55

Tableau 3 : MAP des systèmes de production rizicoles étudiés au Mali

Budget	Localité	Revenu CFA	Biens		Profit
			Échangeable	Non échangeable	
Financier	A	B	C	D	
	Nièna	453 936	78 400	219 850	155 686
	Sélingué	875 000	144 000	329 150	401 850
	Dioro	450 900	60 000	147 700	243 200
	Baguinéda	806 000	89 000	441 030	275 970
	Moyenne	646 459	92 850	284 432,5	26 9176,5
Economique	E	F	G	H	
	Nièna	505 274	100 400	270 011	134 863
	Sélingué	981 750	178 000	449 762	353 988
	Dioro	504 900	90 000	166 517	248 383
	Baguinéda	972 400	128 800	658 980	184 620
	Moyenne	741 081	124 300	386 317,5	230 463,5
Divergence	I	J	K	L	
	Nièna	-51 338	-22 000	-50 161	20 823
	Sélingué	-106 750	-34 000	-120 612	47 862
	Dioro	-54 000	-30 000	-18 817	-5 183
	Baguinéda	-166 400	-39 800	-217 950	91 350
	Moyenne	-94 622	-31 450	-101 885	38 713

Tableau 4 : MAP au niveau des étuveuses en francs CFA

Budget	Localité	Revenu CFA	Biens		Profit
			Échangeables	Non échangeables	
Financier	A	B	C	D	
	Nièna	2 100 000	0	1 888 069	211 931
	Sélingué	19 350 000	0	17 504 900	1 845 100
	Dioro	4 158 000	0	3 811 875	346 125
	Moyenne	8 536 000	0	7 734 948	801 052
Economique	E	F	G	H	
	Nièna	2 191 000	0	2 088 019	102 981
	Sélingué	16 164 694	0	20 583 562	-4 418 868
	Dioro	3 718 440	0	3 991 680	-273 240
	Moyenne	7 358 044,67	0	8 887 753,67	-1 529 709
Divergence	I	J	K	L	

- Coût des outils et des équipements utilisés
- L'amortissement des outils et équipements utilisés dans la production du paddy, l'étuvage et la commercialisation du riz étuvé a été évalué. L'amortissement constant a été utilisé

RESULTATS

Rentabilité de la production du REL

Rentabilité de la production du paddy

Le coût de production du kg de paddy a varié selon les localités (Tableau 2). Les plus faibles coûts ont été observés à Dioro (77,71 F CFA) et Sélingué et (89,55 F CFA). Tandis que les plus élevés sont observés à Nièna (101,55 F CFA) et à Baguinéda (106,74 F CFA). Partout, le coût de la main-d'œuvre constitue l'essentiel des charges de production (tableau 2). Sa part dans le coût total a varié de 51,23% (Dioro) à 57,11% (Sélingué) du coût total.

La production de paddy est financièrement et économiquement rentable pour tous les producteurs. Le PFN et le (PEN) sont positifs pour les trois systèmes étudiés (tableau 3). Ainsi, le pays et les producteurs gagnent dans cette activité. Les PFN et PEN de Sélingué sont les plus élevés (401 850 F CFA et 353 988 F CFA). Les producteurs de paddy perdent des richesses au profit de la société.

Concernant le marché des intrants échangeables et non échangeables, les transferts sont négatifs partout. Depuis l'initiative riz lancée par le gouvernement malien en 2008, les engrains pour la production du riz et les pesticides sont subventionnés

Rentabilité de l'étuvage

L'étuvage est peu pratiqué à Baguinéda. Le paddy y est essentiellement transformé en riz blanc. L'étuvage est une activité financièrement rentable pour les deux autres localités (tableau 4). Le PFN est plus élevé à Sélingué avec (1 845 100 F CFA) par an puis viennent Dioro (345 125 F CFA) et Nièna (211 931 F CFA).

Le PEN est positif seulement pour les étuveuses de Nièna. Ce qui signifie que les étuveuses de Dioro et celles de Sélingué produisent du RE à un coût social élevé (une sorte de gaspillage des ressources) qui dépasse le coût d'importation du riz étuvé. Le constat est que ces organisations d'étuveuses éprouvent des difficultés pour utiliser efficacement le matériel et les équipements offerts par l'Etat et ses partenaires.

Rentabilité de la commercialisation du riz étuvé local

La commercialisation du REL est financièrement rentable dans les trois localités. Le PFN des commerçants de REL de Sélingué est plus élevé (1 935 000 F CFA). Ils sont suivis par ceux de Dioro (4 158 000 F CFA) et ceux de Nièna (2 100 000 F CFA) viennent à la troisième position (tableau 5).

Cette différence de profit entre les localités s'explique par la quantité de riz commercialisée par an. En effet, les femmes de Nièna, ne commercialisent en moyenne que 7 t/an, tandis que les commerçants des deux autres localités vendent des dizaines de tonnes par an.

Le profit économique est positif pour les femmes de Nièna (102 980 F CFA). Il est négatif pour Sélingué et Dioro (tableau 5). Cela indique que la commercialisation aura du mal à continuer à Sélingué et à Dioro en l'absence de soutien. La cause de cet état de fait est la non-structuration de la commercialisation. Les commerçants de la Guinée sont les principaux clients de RE malien (ils achètent près de 90% du riz de Dioro et 80% ce celui de Sélingué). Ils imposent leurs prix au détriment des fournisseurs maliens. Les transferts de revenus sont positifs pour les commerçants de Sélingué et de Nièna. Ils ne sont pas taxés et profitent d'un transfert de revenus du reste de la communauté.

Les transferts sur le revenu sont négatifs pour toutes les localités (tableau 3). Cela indique que les

Compétitivité des activités de production du riz étuvé

Compétitivité de la culture du riz

Le Coût des Ressources Internes (CRI) est inférieur à l'unité pour les trois localités. Donc les trois systèmes de production sont compétitifs dans la production du paddy. Les producteurs de Dioro sont les plus compétitifs, avec un CRI de 0,40, ceux de Baguinéda sont les moins compétitifs, avec un CRI de 0,78 (tableau 6).

Par ailleurs, le Coefficient de Protection Nominal (CPN) pour la production de paddy des trois localités est inférieur à 1 (tableau 6). Cela veut dire que le marché du paddy n'est pas protégé. Les producteurs sont défavorisés sur le marché national. Il sera donc important pour les inciter à produire, que l'Etat adopte des politiques qui améliorent le prix du paddy aux producteurs A Nièna, Sélingué et Baguinéda, les TSP et ESP sont positifs. Ils varient de 4% à 11% (Tableau 49). Les producteurs de paddy bénéficient d'une subvention de 5% à Nièna et Sélingué et de 11% à Baguinéda.

Les TSP et ESP à Dioro sont négatifs (-0,01). Ce qui signifie que les producteurs de paddy de cette localité sont taxés. Un soutien de seulement 1% sur le prix du paddy pourrait améliorer leur compétitivité et leur protection.

Compétitivité de l'étuvage

Le CRI au niveau du maillon étuvage est positif et inférieur à 1 seulement à Nièna (0,95). Les étuveuses de cette localité sont compétitives (tableau 7). Les étuveuses de Sélingué et de Dioro ne le sont pas

Les transferts nets sont positifs pour les étuveuses

Tableau 5 : MAP au niveau des commerçants en francs CFA

Budget	Localité	Revenu CFA	Biens		Profit
			Échangeables	Non échangeables	
	A	B	C	D	
Financier	Nièna	2 100 000	0	1 888 069	211 931
	Sélingué	19 350 000	0	17 504 900	1 845 100
	Dioro	4 158 000	0	3 811 875	346 125
	Moyenne	8 536 000	0	7 734 948	801 052
Economique		E	F	G	H
	Nièna	2 191 000	0	2 088 019	102 981
	Sélingué	16 164 694	0	20 583 562	-4 418 868
	Dioro	3 718 440	0	3 991 680	-273 240
Divergence	Moyenne	7 358 044,67	0	8 887 753,67	-1 529 709
		I	J	K	L
	Nièna	-91 000	0	-199 950	108 950
	Sélingué	3 185 306	0	-3 078 662	6 263 968
	Dioro	439 560	0	-179 805	619 365

Tableau 6 : Indicateurs des effets des politiques et d'incitation à la production de paddy

Localités	Indicateurs						
	PPN ou D > 0	PSN ou H > 0	CRI < 1	L	CPN < 1	TSP	ESP
Nièna	155 686	134 863	0,67	20 823	0,90	0,04	0,05
Sélingué	401 850	353 988	0,56	47 862	0,89	0,05	0,05
Dioro	243 200	248 383	0,40	-5 183	0,89	-0,01	-0,01
Baguinéda	275 970	184 620	0,78	91 350	0,83	0,09	0,11

Tableau 7 : Indicateurs des effets des politiques et d'incitation à la transformation

Localités	Indicateurs						
	PPN ou D > 0	PSN ou H > 0	CRI < 1	L	CPN > 1	TSP	ESP
Nièna	211 931	102 981	0,95	108 950	0,96	0,05	0,05
Sélingué	1 845 100	-4 418 868	1,27	6 263 968	1,20	0,39	0,32
Dioro	346 125	-27 3240	1,07	619 365	1,12	0,17	0,15

Tableau 8 : Indicateurs des effets des politiques et d'incitation à la commercialisation du riz étuvé local

Localité	Indicateurs						
	PPN ou D > 0	PSN ou H > 0	CRI < 1	L	CPN > 1	TSP	ESP
Nièna	227500	199939	0,91	27561	1,01	0,01	0,01
Sélingué	1845100	-4418882,4	1,27	6263982	1,20	0,39	0,32
Dioro	3112350	-55110703	1,47	58223053	1,28	0,50	0,39

Tableau 9 : Indicateurs des effets des politiques et d'incitation au niveau des localités

Localité	Indicateurs						
	PPN ou D > 0	PSN ou H > 0	CRI > 1	L	CPN > 1	TSP	ESP
Nièna	595117	437783	0,91	12510	0,97	0,00	0,00
Sélingué	4092050	-8425762	1,25	6856831	1,19	0,21	0,17
Dioro	3701675	-55418805	1,46	58837235	1,27	0,48	0,38
Baguinéda	240970	753600	0,15	-59000	0,83	-0,06	-0,07
Moyenne	2157453	-15663296	0,94	16411894	1,07	0,16	0,12

de toutes les localités. Donc il y a transfert de revenus de la collectivité vers des étuveuses. Les valeurs des TSP et ESP sont positives pour Nièna, Sélingué et Dioro et varient de 5% à 32 % (tableau 7). Les étuveuses de Nièna bénéficient d'une subvention de 5%, celles de Sélingué, 32 % et de 15 % pour celles de Dioro.

Compétitivité de la commercialisation du riz étuvé

Seuls les commerçants de Nièna sont compétitifs pour la commercialisation du REL. Le CRI est 0,91 (tableau 8). Les CRI au niveau des commerçants de REL de Dioro et de Sélingué sont supérieurs à 1. Donc le prix de revient du REL de ces deux localités rendu à Bamako pour les commerçants est supérieur au prix du riz importé. Ils ne sont pas compétitifs

Les TSP et les ESP positifs pour toutes les localités. Ils varient de 1% à 50% (tableau 8). Les commerçants de RE bénéficient d'une subvention de 1% pour Nièna, de 32% pour Sélingué et de 39% pour Baguinéda.

Compétitivité des localités dans la production du riz étuvé

Le Coût des Ressources Internes (CRI) est inférieur à l'unité pour seulement la localité de Nièna (0,91). Le riz étuvé de cette localité est compétitif et peu concurrencer le riz étuvé importé à Bamako. Le CRI de Dioro et de Sélingué est supérieur à l'unité. Le REL de ces localités n'est pas compétitif. Les localités de Nièna, de Sélingué et de Dioro présentent des TSP et ESP positifs qui varient de 0% à 48%. La localité de Nièna ne bénéficie pas de subvention (TSP=0). La localité de Sélingué bénéficie d'une subvention de 17% et celle de Dioro, 38 % (tableau 9). Dans l'ensemble, la localité de Nièna a un avantage comparatif et est compétitive dans la production du REL à vendre à Bamako. Nos résultats diffèrent de ceux d'études qui ont montré que le riz produit localement est compétitif à l'intérieur du pays [6, 13]. Cela peut être dû à l'évolution des pratiques agricoles et agroalimentaires d'une part et d'autre part à la dynamique sociopolitique du pays après la crise qu'il a connue en 2012.

CONCLUSION

Il ressort à l'issue de cette étude que parmi les trois systèmes étudiés, que seule la riziculture de bas-fond de Nièna a un avantage comparatif dans la production du riz étuvé pour concurrencer le riz importé à Bamako. Tandis que le système de riziculture avec maîtrise totale de l'eau de Sélingué et à submersion contrôlée de Dioro, n'ont pas un avantage comparatif en produisant du riz étuvé à vendre à Bamako.

Ainsi des actions doivent être menées et des mesures doivent être prises pour améliorer cette la

compétitivité des REL produits dans toutes les localités. L'Etat doit réhabiliter les pleines de Nièna et les ouvrages de l'irrigation et de drainage. Dans l'ensemble, l'Etat doit de faciliter l'accès des riziculteurs des localités aux variétés améliorées qui donnent du riz étuvé de qualité comparable au riz étuvé importé. Il doit vulgariser nouvelles technologiques de production du riz et d'étuvage. Il doit former les étuveuses des localités aux techniques d'étuvage modernes en les orientant vers l'utilisation efficacité des ressources productives. Les étuveuses doivent être initiées aux notions de gestion d'entreprise (commercialisation et marketing). Dans le but d'améliorer la qualité du riz au décorticage, il faut que l'Etat aide les acteurs en installant des mini rizeries dans les localités. Il faut également sensibiliser la population pour qu'elle consomme le REL et réglementer le marché du REL. Car l'étude a montré que, plus des deux tiers du REL produit dans les localités est acheminé à vers la Guinée Conakry. En conséquence, les commerçantes Guinéennes imposent leur prix aux étuveuses et aux commerçants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Dimitè G., 2000, *Small-scale inland valley swamp rice production: a viable entreprise system of Southern Mali.* 189 – 211. in Bingen G.J., Robinson D. and Staatz J. Ed. Democracy a, d development in Mali. Michigan State University East Lansing. 379p.
- [2] MAFAP, 2013. *Revue des politiques agricoles et alimentaires au Mali.* Série rapport pays SPAAA, FAO, Rome, Italie. 225p.
- [3] Diakité L., Bagayoko, A., 2014, Étude de l'impact des importations, leur saisonnalité, les dons et aides alimentaires, sur la commercialisation du riz local, Rapport provisoire, PNPR-Mali, Vredeseiland, Union Européenne.
- [4] Diarra, B. S. ; Kéita, F. ; Traoré P. 2014 : L'inclusion des femmes, des jeunes et des pauvres dans la chaîne de valeur du riz au Mali., 144pages.
- [5] Fall A., et Biosci J. A., 2018. Chaîne de valeur riz en Afrique de l'Ouest: Performance, enjeux et défis en Côte d'Ivoire, Guinée, Libéria, Mali, Sierra Léone et Sénégal. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v130i1.5> *Journal of Applied Biosciences* 130: 13175 – 13186. 15p
- [6] AFD. 2005. La filière riz au Mali : compétitivité et perspectives de marché Document de travail septembre 2005.
- [7] Coulibaly M. Y. et Ouologuem A., 2014. *Étude sur les chaînes de valeur riz au Mali.* Rapport final. AMSSA Afrique verte Mali, Vredesellande, UE. 82p.
- [8] Balie J., Diakite L., Diallo F., Barreiro-Hurle J., Mas Aparisi A., 2013. *Analyse des incitations et pénalisations pour le riz au Mali.* Série notes techniques, FAO, Rome
- [9] Aquilas, F., Adegbola Y. P., Samey N., Clohouno J., Soglo Y. Y., 2013, *Analyse de la compétitivité de la chaîne de valeur ajoutée crevette fraîche et crevette fumée du Bénin,* Invited paper presented at the 4th International Conference of the African Association of Agricultural Economists, September 22-25, 2013, Hammamet, Tunisia.

- [10] Diawara, S., Condé, A., Diallo, B., 2011, *Analyse de la compétitivité du riz local en Guinée*,CAM, PRESAO, Michigan State University, Résumé N° 4- 2011-12
- [11] Adegbola, P. Y., Sodjinou, E., Singbo, A., 2002, *Étude de la compétitivité de la riziculture béninoise*, Actes du 4Rs 2002, Économie du riz.
- [12] Sodjinou et Aboh, 2009, *Étude de la Compétitivité des Systèmes Traditionnel et Moderne d'Elevage de la Volaille au Bénin*, Rapport technique final, Protocole APRA N° 100/07-Code 2007 PRN015, Centre de Recherche Agricole (CRA) a vocation nationale base A Agonkanmey.
- [13] Koné B. M., 2011. *Etude de la compétitivité de la filière riz à l'Office du Niger (Mali)*. PRESAO, Composante SRAI. CAM, Rapport Final N° 6- 2011 12-Riz. Michigan State University, AfricaRice et Fondation Syngenta pour une agriculture durable.

Evaluation des Performances agronomiques des essais à Base d'association (Riz-Sorgho) dans la Région de Dioila

Mamoutou COULIBALY^{1,2}, Metaga COULIBALY¹, Moussa KANTE¹, Amadou DIOP¹, Oumar D. TRAORE¹

1- Faculté d'Agronomie et de Médecine Animale, Université de Ségou ; 2-EDSTM (Ecole Doctorale des Sciences et Techniques du Mali).

* coulibalymamoutoul16@gmail.com

RÉSUMÉ : Ces dernières années, l'irrégularité des pluies est manifeste. Cette affirmation est soutenue par le vécu des producteurs de certaines zones du pays comme ceux de Dioïla ; aussi, la non maîtrise de la dynamique climatique par les producteurs est un véritable problème qui impacte négativement sur le résultat des campagnes agricoles. C'est pour parer à ces genres de risques que la présente étude a pour objectif d'évaluer les performances agronomiques des essais à base d'association Riz-Sorgho à différentes proportions.

La méthode d'investigation est l'installation des essais ; cela, suite à l'identification de 15 producteurs pilotes, dont cinq par villages (*Zeta, Sompia et Wacoro*). Le dispositif expérimental se caractérise par une parcelle de 100m², un facteur à cinq niveaux et trois répétitions, les Variables d'observation sont les tailles et le rendement.

Chez chaque producteur, un essai comparatif de l'association (Riz-Sorgho) est installé avec les proportions testées suivantes : **3/4 Riz contre 1/4 Sorgho, 2/4 Riz contre 2/4 Sorgho et 1/4 Riz contre 3/4 Sorgho**. Les résultats préliminaires indiquent que les proportion **1/4 Riz contre 3/4 Sorgho** sont les meilleures.

Mots clés : Changement climatique, Association de cultures Riz-Sorgho, Dioila.

I. INTRODUCTION

Ces dernières années, l'irrégularité des pluies est manifeste avec souvent des fortes pluies succédées par des périodes de faibles. En effet, l'agriculture est reconnue comme une activité soumise à divers risques (fluctuation de marchés, politiques gouvernementales, invasion de ravageurs) dont le plus parlant est le risque climatique qui fait l'unanimité à travers les écrits ces dernières décennies (*Ochou et Ouattara, 2020*). Les changements climatiques et la biodiversité agricole entretiennent une liaison fondamentale et multiforme qui nécessite de penser l'un avec l'autre (*Ibpes, 2019*). Mais, alors que les effets des changements climatiques diffèrent selon les espèces et leurs modes de culture, les politiques agricoles à l'œuvre allant dans le sens d'une diversification des cultures restent minoritaires face au modèle intensif-irrigué. Toute variation imprévue des paramètres climatiques est susceptible d'entrainer des pertes de productions agricoles plus ou moins importantes et partantes, d'exacerber la vulnérabilité des populations les plus pauvres, surtout dans les pays où l'agriculture est fortement pluviale (*Ochou et Ouattara, 2020*).

Parmi les contraintes majeures de la production agricole répertoriées en Afrique, la sécheresse est particulièrement l'une des plus dévastatrices puisque plus de 80 % de la production agricole est tributaire des eaux pluviales (*FAO, 2007*).

Cette affirmation est soutenue par le vécu des producteurs de certaines zones du pays comme ceux

de Dioïla. De plus, il ressort que la non maîtrise de la dynamique pluviométrique voir climatique par les producteurs est un véritable problème qui impacte négativement sur le résultat des campagnes agricoles. En exemple, les données statistiques de l'Observatoire Malien des Marchés Agricoles (OMA) établissent clairement une augmentation des prix des céréales concernées par notre étude (le prix du kilogramme de riz et du sorgho ont significativement augmenté de 2019 à 2023, en passant respectivement de 375f et 140 f à 500 f et 250f) (*OMA,2023*) ;

Les effets de ces changements sont incontournables et implique une adaptation de nos sociétés à leurs conséquences. Cela requiert la mise en place de politiques d'ajustement mettant en œuvre des stratégies d'atténuation et d'adaptation dans les secteurs socio-économiques sensibles au climat comme l'agriculture ;

Le rapport de l'OCDE étudie les conséquences économiques du changement climatique et projette que le PIB mondial devrait essuyer des pertes de 2 à 10 % dues aux changements climatiques futurs si la hausse de la température mondiale atteint 4°C en 2100 (par rapport aux niveaux préindustriels).

Cela est d'autant plus préoccupant lorsque ces derniers utilisent des espèces cultivables non adaptées à la pluviométrie du moment. En Afrique Sub-saharienne (ASS), les populations locales de plus en plus vulnérables s'adaptent tant bien que mal aux effets néfastes de ce phénomène du fait de leurs situations géo-climatiques, leur forte dépendance à

l’égard des ressources naturelles et leurs capacités d’adaptation limitées à l’évolution du climat (**Goulden et al, 2009 ; Zakzouk, 2010**).

C’est pour parer à ces genres de risques que la présente étude a pour objectif d’évaluer les performances agronomiques des essais à base d’association Riz-Sorgho à différentes proportions.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Description sommaire du milieu d’étude

Le milieu d’étude est la Région de Dioila; Dioila est une ville du Mali, dans l’ancienne Région de Koulikoro, aujourd’hui chef-lieu de la Région du même nom. Elle est située à 160 km à l’est de Bamako par la route ;

La Région de Dioila comprend plusieurs communes dont celle qui porte les sites de notre présente étude, qui est Wacoro, située à 20 km à l’est de Dioila ; En se référant aux recensements de 2018 (RAVEC), Wacoro compte 19 232 habitants en 2019 et à pour coordonnées géographique : 12° 36'03" nord, 6° 41' 36" ouest.

2.2. Collecte des données

2.2.1. Données primaires et secondaires

La collecte des données secondaires commence par la revue documentaire à partir de la documentation des études faites sur les impacts du changement climatique et des ressources en ligne. La revue de ces documents nous a permis de mieux cerner la problématique de l’étude et d’avoir les éléments pour l’élaboration des questionnaires ; les questionnaires ont été structurés sur le changement climatique, les revenus de l’agriculture et le mode d’emploi de ces revenus ; soumis à l’observation de l’encadrement pour la validation. Ils traitaient notamment des caractéristiques sociodémographiques des producteurs, de la production, de commercialisation des produits et les notions de perception du changement climatique par les producteurs. Par ailleurs, les données issues des observations agronomiques ont été collectées à l’aide de fiches de notation élaborées à cet effet.

2.2.2. Plan d’expérimentation

Il s’agit d’une expérience à un facteur à cinq niveaux et trois répétitions

- Unité expérimentale : Parcelle de 100m² ;
- Variables d’observation : Tailles, Rendement ;
- Variable cible : Résilience ;
- Facteur : Association Riz-Sorgho ;

Tableau 1 : Niveaux du facteur

	Associations				
	Riz	Riz-Sorgho	Riz-Sorgho	Riz-Sorgho	Sorgho
Proportions	1-0	3/4-1/4	1/2-1/2	1/4-3/4	0-1

Nombre de répétition par niveaux de facteur : 3

Nombre de répétition spatiale : 3 villages

Nombre de répétition temporelle : 3 ans

Nombre de producteurs nécessaires par village : 15

Nombre total de producteurs : 45.

Le matériel et les considérations techniques déployés pour cette étude était :

- Un pluviomètre par village;
- Même quantité d’intrant;
- Même variétés ;(CESM 63 pour le Sorgho et NERICA pour le Riz)
- Même technique culturale;
- Même analyse de sol initial.

2-3 Traitement et analyse des données

Une fois les données collectées sur le terrain à partir des questionnaires, des fiches d’observations, nous allons les traitées par les outils informatiques, notamment le SPS et CSPRO.

Des statistiques descriptives, l’analyse de variance seront appliquées pour apprécier laquelle des proportions (association des cultures « Riz-Sorgho ») est la meilleure stratégie de résidences aux effets négatifs du changement climatique.

III. RESULTATS

3.1-Données pluviométriques des 03 sites d’étude

Pour les cumuls pluviométriques sur la période d’étude on a recensé 689.7 mm à Zeta, 934.91 mm à Sompia et 889.8 à Wacoro. Sachant que le nombre de jours de pluies est respectivement de 45 jours (Zeta), 59 jours (Sompia) et 52 jours (Wacoro), on peut soutenir que les pluies ont été très irrégulières dans les trois villages mais beaucoup plus à Zéta que dans les deux autres villages.

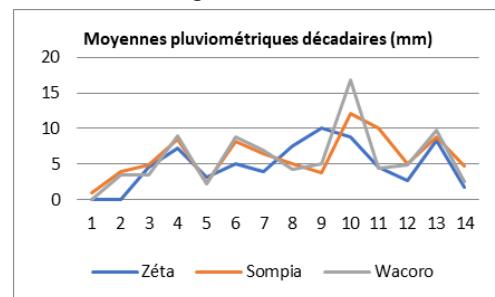


Figure 1 : Evolution de la pluviométrie moyenne décadaire dans les trois zones d’étude.

Tableau 2 : Cumuls pluviométriques sur la période d'étude

		Villages	
	Zéta	Sompia	Wacoro
Cumuls (en mm)	689.7	934.91	889.8

Tableau 3: Répartition des jours de pluies par village.

		Villages	
	Zéta	Sompia	Wacoro
Nombre de jours de pluie	45	59	52

Tableau 4 : Statistiques descriptives décadiques des pluies (en mm).

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max
Zéta	0	2.8	4.6	4.83	7.5	10
Sompia	0.9	4.17	5.05	6.06	8.42	12.1
Wacoro	0	3.5	4.7	5.84	8.32	16.9

Tableau 5 : Régularité des pluies sur la base du coefficient de variation.

	Zéta	Sompia	Wacoro
Coefficient de variation (CV)	66%	41%	42%

Tableau 6: Rendement Grain/Paddy par association

Associations						
		Riz 1-0	3/4 Riz - 1/4 Sorgho	1/2 Riz- 1/2 Sorgho	1/4 Riz- 3/4 Sorgho	Sorgho 0-1
Zéta	Sompia	Riz	So	R		
	Wacoro	Sorgho				
Sompia	Riz	10	7.9	4.5	2	
	Sorgho		3.5	6.3	10	13
Wacoro	Riz	9	6.9	3.9	1.72	
	Sorgho		3.8	4	8.7	12
Zéta	Riz	11	8.5	5.2	2.8	
	Sorgho		3.7	4.2	12	14

Tableau 7: Rendement Paille par association.

Associations						
		Riz 1-0	3/4 Riz - 1/4 Sorgho	1/2 Riz- 1/2 Sorgho	1/4 Riz- 3/4 Sorgho	Sorgho 0-1
Zéta	Sompia	Riz	So	R		
	Wacoro	Sorgho	3.7	2.8	1.8	0.9
Sompia	Riz		0.6	1.2	1.8	1.2
	Sorgho	3.4	2.6	1.9	0.8	
Zéta	Riz		0.8	1	1.7	2.2

Wacoro	Riz	3.8	2.9	2	0.9	
Sorgho		1	1.5	1.9	2.5	

3.2-Evaluation des rendements des différents types proportions (associations)

Les données collectées sur l'évaluation des rendements relatifs à différentes proportions sont intégrées dans les tableaux ci-dessous.

3.3-Evaluation des paramètres agromorphologiques (taille et nombres de talles) des différentes proportions (associations).

A la date du 17-09-2023, soit 89 jours après semis, nos résultats indiquent que la taille moyenne du riz a atteint la valeur de 1,18 m contre 1,61 m pour le sorgho. En nombre de talles pour la même période, on a respectivement pour le riz, la valeur de 05 talles contre 02 pour le sorgho.

3.4-Determination du meilleur type de proportions (associations)

Les proportions 1/4 Riz contre 3/4 Sorgho sont les meilleures en termes de rendement. Cette tendance obtenue en année I de notre expérimentation devra être confirmée par les résultats des deux autres campagnes agricoles (2024 et 2025)



Figure 2 : Illustrations des activités sur terrain

IV-DISCUSSION

Quoi dire de la variabilité des pluies

L'analyse de la littérature grise, démontre que la non maîtrise de la dynamique pluviométrique voir climatique par les producteurs est un véritable problème qui impacte négativement sur le résultat des campagnes agricoles. Selon Ozier-Lafontaine, & Bassette (2023), Des territoires très exposés aux effets du changement climatique, avec des probabilités de renforcement des périodes de sécheresse, se montrent très impactées lourdement

par la baisse de la production agricole. C'est dans cette optique que les auteurs Ochou et Ouattara (2020), indiquent qu'en effet, ces dernières années, l'irrégularité des pluies est manifeste, avec souvent des fortes pluies succédées par des périodes de disettes (faibles voir insuffisantes pluies) avec des conséquences sur les rendements. Nos données actuelles, sur les prélèvements de pluies dans les zones de cultures, nous montre une certaine différence, malgré que les trois (03) villages d'étude soient dans la même zone agroécologique.

Quid des rendements évalués et de l'intérêt de l'association culturale ?

Nos données soutiennent l'efficacité de l'association des céréales par rapport à leur monoculture dans le contexte de gestion des variabilités des pluies. Cette tendance corrobore avec les affirmations de certains producteurs sondés sur le terrain dans la région de Dioïla. Aussi les auteurs Ozier-lafontaine & Bassette (2023) mettent en avant dans leur article, l'intérêt de l'association culturelle, en apportant un éclairage sur les bénéfices attendus des systèmes multiespèces (SME) pour l'économie de l'eau en zones tropicales. Cependant bon nombre de producteurs, ne savent pas quelle sont les bonnes associations culturelles, capables d'être efficace dans des conditions de stress hydrique ou de variabilité de la pluie. Cette situation est confortée par des opinions sont d'autant plus préoccupantes lorsque certains des producteurs enquêtés, au cours de notre étude, disent utilisés des espèces cultivables non adaptées à la pluviométrie du moment. Par ailleurs des études menées au Sahel (*Ouedraogo et al. (2020), Toure & Diallo (2023)*), précisément au Mali, Burkina et Sénégal, sur les pratiques climato-intelligentes, mettent en avant l'intérêt des associations culturelles.

V. CONCLUSION

Ces résultats demeurent encore un point de

départ pour les activités de recherche pour les campagnes agricoles à venir. L'an I a essentiellement été marqué par une expérimentation (la mise en place des parcelles, le suivi des techniques culturales, la récolte et la pesé des rendements) ; Les résultats préliminaires des essais de l'an I ont montré que la proportion (*1/4 Riz contre 3/4 Sorgho*) donne plus de rendement que les autres proportions ; soit une moyenne de 10,23 kg de Sorgho et 2,17 kg du Riz paddy.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- OCHOU F.E., OUATTARA P. D., 2020. Impact du changement climatique sur les revenus agricoles ; Rapport FAO 2007.
- GOULDEN et al, 2009, ZAKZOUK, 2010 ; Valorisation des innovations endogènes en maîtrise de l'eau pour une perspective d'amélioration de la production agricole au Bénin ; Ibpes 2019.
- Sambo Armel ; Vulgarisation des savoirs locaux agricoles comme stratégies d'adaptation au Changement climatique dans la région de l'Extrême Nord du Cameroun ;
- Oma ; Rapport des activités de l'Observatoire de Marché Agricole (OMA) de 2019-2023 ; Article : Fiche technico-économique pour la culture de riz en hors aménagement de la campagne sèche (Région de Dosso).
- Ozier-Lafontaine, H., & Bassette, C., 2023. Des systèmes multiespèces pour une agriculture climato-intelligente plus économies en eau : bases biophysiques et leviers d'action. Revue AE&S 13-1 Eau, sol et changement climatique : quelles implications pour les agronomes et les pédologues
- Ouédraogo, M., Houessonon, P., Sall, M., Sanogo, D., Tougiani, A., & Dembélé, S. (2020). Technologies et pratiques agricoles prometteuses pour le développement de chaînes de valeur climato-intelligentes au Mali, Niger et Sénégal.
- Abdoulaye, M., Toure, A. O., & Diallo, H. (2023). Variabilité climatique et stratégies d'adaptation des agriculteurs dans le cercle de Gao au Mali. Revue Hommes-Peuplements-Environnements, 4(7), 1-17.

Effect of Pneusols and Stone Rows on Soil Water Erosion in Sudan-Sahelian Zone, Case of Djindjila

Mahamadou Lamine KATILÉ^{1*}, Aboubakar BENGALY², Souleymane S. TRAORÉ³, Rodrigo-COMINO JESÚS³

¹West African Science service center on Climate change and Adapted Land use, Mali.

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA), Mali

³Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

³Institut d'Economie Rural de Sotuba, Lab Sol-Eau-Plante, Mali ;

³Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Facultad de Filosofía y Letras, Campus Universitario de Cartuja, Universidad de Granada, Granada, Spain

*mahamadouaminekatile@gmail.com

ABSTRACT: Farmers in developing countries are increasing productivity and water use efficiency by adopting proven agronomic and water management practices. Thus, a study was carried out in Djindjila in the rural commune of Meguetan, Koulikoro, Mali, with the objective of improving agricultural soil productivity through soil water erosion control techniques. As result, an experimental study was carried out on two farmers' plots in Djingila with stone rows and pneusol under *zea maize* and *surghum bicolor* crops to assess runoff coefficient, soil moisture and soil loss as well. The study showed that the moisture content in the control, pneusol and stone rows plots was 19.99%; 22.3% and 21.50% respectively. In relation to the runoff coefficient, the results obtained show that the control has 29.38%, the pneusol has 11%, and the stone rows have 15.95%. The maximum soil loss was observed on the control plots with a peak of 2,576 kg.ha⁻¹ for control plot while the value of improved plots is 1,907 kg.ha⁻¹. These results show that pneusol and stone rows are conservative technologies which, if adopted on a large scale, could be a better alternative for farmers facing erosion problems in the Sudano-sahelian zone.

Keywords: Soil erosion, Pneusol, Stone rows, Agriculture, Sudano-sahelian zone.

INTRODUCTION

In Mali, soil degradation due to erosion (which varies in space and time [1]) has become significant and worrying as in the whole of the Sudano-Sahelian zone of West Africa [2]. It is prevalent and leads to an enduring environmental and humanitarian crisis [2]. Agricultural land is subjected to immense degradation and the loss of important soil nutrients due to soil erosion [3, 4]. This threat is among the critical environmental constraint for crop production in Mali [5].

The highest soil erosion rates which is one of the main threats driving soil degradation [6], are registered in agricultural fields, resulting in a reduction in agricultural land and a loss of nutrients that are useful for plant growth [4]. The growing demand for food production coupled with the lack of knowledge about the limiting attributes of soils induce soil degradation [4]. The report on the Economic, Social and Cultural Development Programme from the Ministry of Local and Regional Authorities indicates that the rural municipality of Meguetan is suffering from severe water erosion [7].

Studies on soil erosion in Mali have included global analysis at village terroir level [8; 3], quantifying water erosion based on soil type, land use and cultivation practices; the spatialization of erosion risks using caesium 137 to assess erosion and sedimentation zones at catchment scale [9];

Conservation using contour ridge tillage in Bougouni and Koutiala [5], landscape pattern analysis using GIS and remote sensing to diagnose soil erosion and nutrient availability in two agroecological zones of Southern Mali [10]; vulnerability of landscape patterns from a multidisciplinary approach based on remote sensing and GIS in two agroecological zones of Mali [11], modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro [12], contour bunding technology-evidence and experience in the semiarid region of southern Mali [13], effects of agricultural practices on water erosion in the Soudanian zone of Mali (IPR/IFRA station at Katibougou) [14].

The special feature of this study is the experimentation with old tyres in agricultural plots to examine their effects on runoff, humidity and soil loss.

More than 5 million tyres are thrown away in the countryside all year round, even worse when they are burnt. The smoke they give off causes serious pollution problems. Reusing tyres on a large scale could be a serious solution to this bulky waste. In environmental terms, tyre management will be a serious problem if they are not recycled. Tyres are solid, heavy and reflective objects because they are made of rubber.

A study carried out on environmental occurrence, fate, impact, and potential solution of tyres

microplastics: Similarities and differences with tyres wear particles by Luo et al showed that tyre microplastics are identified as one of the most abundant types of microplastics and may directly or indirectly cause adverse impacts on the environment and human health [15].

Microplastics are an emerging global threat in all ecosystems and have potential negative effects through multiple exposure pathways [16].

In Mali, innovations such as the manufacture of chairs, sandals, decorative objects, etc. are being developed to reuse used tyres in order to combat pollution [17].

This study highlights the contribution of stone rows, which are most widely adopted by farmers in the study area, and pneusol, a brand-new technology for combating soil erosion.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The trial was conducted during the 2022 rainy season in the village of Djindjila, located in the rural commune of Meguetan.

which experiences a Sudanese-Sahelian climate [18]. The zone is characterized by three distinct seasons: i) the hot dry season lasts from February to June, marked by winds throughout the day and night. The period is characterized by relatively low humidity and high evapotranspiration; ii) the cool dry season occurs from November to February, with relatively low wind and temperature; and, iii) the wet, warm season from June to October, being the most favorable period for vegetation growth. Throughout the year, the temperature varies between 17 and 45°C, while the average annual rainfall ranges from 700 to 900 mm.

Djindjila is characterized by hydromorphic soils. These have an average depth of about 125 cm at foot slopes and are considered heavy and challenging to work by farmers. Approximately, 41% of Méguétan farmers cultivate this soil and the main crops grown in these soils are sorghum, maize and millet [18]. They are also affected by streams or temporary channels, which can be transformed into rills and ephemeral gullies after strong rainfall events. These soils also experience gleyification in very deep horizons (140 cm) located in the temporary flood zone of the swamps. Tropical ferruginous soils can be found on spreading pediments with a depth of 140 cm. They account for a significant portion of the zone's land and are utilized for cultivating sorghum, cotton, millet, and maize. We can also find soils with high gravel content and crust blocks which are less

prevalent in the area. They have a depth of less than 50 cm and are not suitable for mechanization using animal traction. The main crops grown in these soils include cowpeas, sorghum, millet, and groundnuts. Finally, leptosols located in slightly sloping areas have a shallow crust of about 25 cm [19].

Soil management is primarily focused on both food and cash crop, although there are still some underexploited plains. Various food crops cultivated in the region include *Zea mays* (maize), *Pennisetum glaucum* (millet), *Sorghum bicolor* (sorghum), *Oryza sativa* (rice), *Vigna unguiculata* (cowpea) and *Vigna subterranea* (wandzou). Cash crops, on the other hand, consist of *Gossypium* spp. (cotton), *Rachis hypogaea* (groundnut) and *Sesamum indicum* (sesame). Also, some fruit trees can be found such as *Vitellaria paradoxa* (shea), *Parkia biglobosa* (néré), *Khaya senegalensis* (baobab), *Coccoloba uvifera* (grape) as well as plantations such as *Magifera indica* (mango), orange trees, *Psidium guajava* (guava), *Citrus limon* (lemon) and *Anacardium occidentale* (cashew). However, agricultural sector in the region faces several challenges including: i) non-degradation of plastic waste in nature; ii) loss of land due to erosion and soil poverty; and, iii) the scarcity and irregular distribution of rainfall. To address these challenges and enhance agricultural productivity, farmers use a combination of agricultural inputs. These inputs include chemical fertilizers like diammonium phosphate, urea, cereal complex, and cotton complex, as well as organic fertilizers like manure and other organic materials [18]. By utilizing a mix of these inputs, farmers aim to improve soil fertility and enhance crop yields in the area.

Experimental setup

The experimental set-up has been installed on erosion crusted soil in Djindjila. It was composed of a complete randomized block with two repetitions A and B. Each block consisted of two plots (30 m long and 10 m wide) each receiving a specific treatment: a first control plot pair with a stone rows plot (SR), and a second control plot pair with a "pneusol" plot (PS). Each plot has been isolated by corrugated sheets 30 cm high above the ground, embedded 20 cm deep.

It should be noted that the stone rows are the water and soil conservation structure most used by the farmers of Djindjila in their fields.

This is due to the availability of an impressive quantity of stone. These rocks come from hills that stretch over several hundred kilometers.

The principle behind "pneusol" is to collect used tyres, cut them into arcs and place them in the ridges perpendicular to the direction of flows



Fig. 1 : A.Pneusol; B. Stone rows; C. Runoff collection furrow (Photo. Own elaboration).

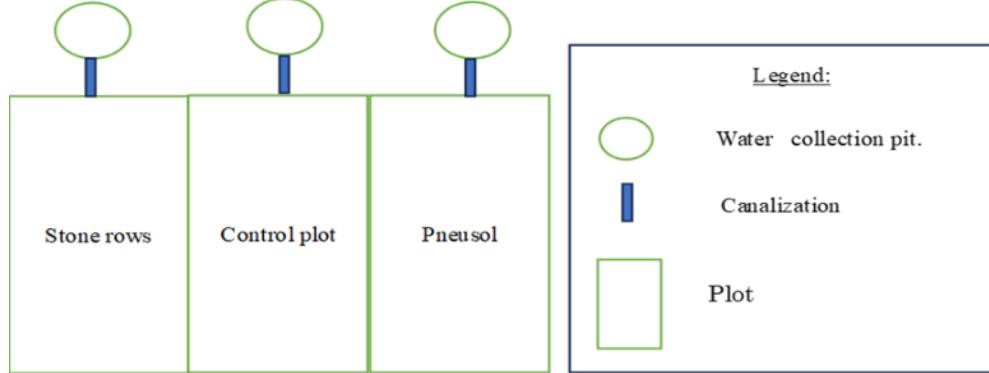


Fig. 2: Experimental device (Own elaboration).

Observed parameters.

Measuring soil bulk density and porosity

Soil samples were taken from pits with 100 cm³ density cylinders in both pits and brought to the laboratory to determine the bulk density for each horizon using the following formula:

$$d_a = \frac{M_s}{V_c} \quad (1)$$

Where d_a is apparent density, M_s is the mass of dry soil and V_c is the volume of the cylinder.

The porosity (P) in percentage (%) is calculated using the following formula:

$$P = 100 \times \frac{d_r - d_a}{d_a} \quad (2)$$

Soil infiltration

Infiltration has been used to determine and classify soils according to their permeability. Permeability is expressed by the quantity of water that percolates through the soil and is given by Darcy's law, which is adjusted. This method involves digging a cylindrical hole 10 cm in diameter and around 50 cm deep. After filling it with water, the variation in level is observed.

Note the height h_1 of the water at time t_1 and the height h_2 at time t_2 . If r is the radius of the small well, the infiltration rate K is given by the formula below. It should be noted that these infiltration measurements were carried out on the developed and undeveloped plots.

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \log \left(\frac{h_1 + \frac{r}{2}}{h_2 + \frac{r}{2}} \right) \quad (3)$$

Estimating runoff and erosion

The rainfall and runoff volume readings taken on the plots for each rainy event of the season will make it possible to calculate:

The runoff noted L_r , expressed in millimetres, corresponding to the quantity of rain that did not infiltrate the soil. Its value will be calculated from the volume of water runoff measured from the barrels.

$$L_r = 1000 \times \frac{V}{S} \quad (4)$$

The runoff coefficient K_r is expressed as a percentage and represents the proportion of rainfall (P in mm) that did not infiltrate the soil.

$$K_r = 100 \times \frac{L_r}{Rainfall} \quad (5)$$

From the total amount of rainfall measured during the campaign and the total sum of the L_r values, an average annual runoff coefficient (KRAM) has been calculated.

$$KRAM = 100 \times \frac{L_r}{P_{annual}} \quad (6)$$

With: Annual P and L_r in mm, KRAM in %.

The highest measured value of K_r during the campaign is noted as K_{rmax} . The evaluation of the runoff from the beginning to the end of the season determined the threshold rainfall that causes runoff.

Erosion measurement

For the erosion measurement, after each rainfall event resulting in runoff, the water collected in the drum has been thoroughly mixed and a 1 litre sample has been taken. These samples are then sent to the laboratory for oven drying and weighing of the sediment. These data are scaled to determine sediment erosion and nutrient content per hectare.

Statistical data analysis methods

The analysis of variance was performed with STATITCF software (version 5 copyright _1987-1988-1991). The means were separated using the smallest significant difference (LSD) at the probability threshold of 5% [14].

RESULTS

Soil density and porosity

Table 1: Values of density and porosity.

Pedological pit	Density (g/cm ³)		Porosity %	
Horizons (cm)	Plot M	Plot F	Plot M	Plot F
0-10	1.58	1.60	40.30	39.20
10-20	1.50	1.58	41.55	40.30
20-30	1.58	1.79	40.30	37.20
30-40	1.56	1.75	41.13	36.90

The table 1. summarizes the values for density and total porosity (%). The difference between these values remains minor, with the exception of the total porosity obtained on Plot F, estimated at 36.90%.

The maximum density was determined on plot F with a value of 1.79 on the third horizon. This second plot therefore has a lower porosity than the first (Plot M). This difference can be explained by the fact that the density is relatively high on plot F, with values between 1.58 and 1.79. It should be noted that the soil is literally gravelly from a depth of 30 cm and fairly sandy on the surface, which helps to carry soil particles away during rainfall events.

Soil infiltration

The data collected in the experimental plots show that infiltration is greater in the developed plots than the controls. In fact, it is around 3.66 cm/h on the pneusol plot and 0.23 cm/h for the first control (T1). Similarly, the stone rows plot and the control (T2) have infiltration values of 1.88 cm/h and 0.15 cm/h respectively.

The average moisture content determined during the campaign on pneusol plot, and the first control plot were 22.33% and 20.77% respectively. These values slightly enhance pneusol's status as a moisture conservation structure.

These values slightly enhance pneusol's status as a moisture conservation structure. However, the fairly

small difference can be explained by the regularity

Table 2: Soil infiltration

Plots	Infiltration cm/h	Observation
Pneusol	3.66	Moderate
T1	0.23	Slow
Stone rows	1.88	Slow
T2	0.15	Very slow

Very slow	0-0.15	cm/h
Slow	0.15-2.0	cm/h
Moderate	2.0-12.0	cm/h
Fast	12.0-25.0	cm/h
Very fast	25.0-Over	cm/h

Effects on soil moisture

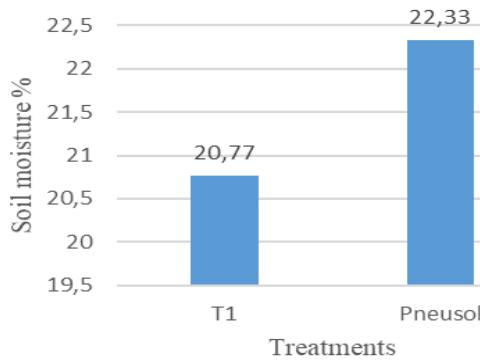


Fig. 3: Moisture content on plot M.

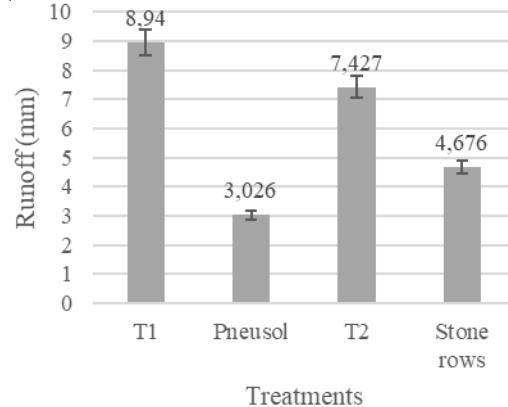


Fig. 4: Average annual runoff

and frequency of rainfall during the campaign, particularly in September.

The graph illustrates the average amount of water contained in the control plot (T2) and the plot with stone rows.

The results obtained, although fairly similar, show that the stone rows maintain soil moisture after a rainfall event. Over the season, the average moisture content was 19.21% for the control plot and 21.50% for stone rows.

Effects of factors on runoff coefficient

The results below show the quantities of rain that did not infiltrate the soil. By comparing the data collected on the four plots, it first emerges that the

quantities of water run-off on the control plots are strictly greater than those on the developed plots. This can be explained by the fact that the structures favor infiltration by reducing the quantity of water run-off. The effectiveness of pneusol is quite significant in that it reduces the amount of water flows off a ridge by 34%. On the scale of the total cultivated area of the field, infiltration would be much more relevant with the techniques implemented.

To assess the effectiveness of the techniques tested, it is important to determine the runoff coefficient (C_r). This is a measure of infiltration and retention capacity. However, the results obtained show that pneusol has an interesting retention capacity, with an estimated runoff coefficient of 11, whereas the T1 control plot has a much higher runoff coefficient (33.35). Stone rows and T2 plot had coefficients of 15.95 and 25.30 respectively.

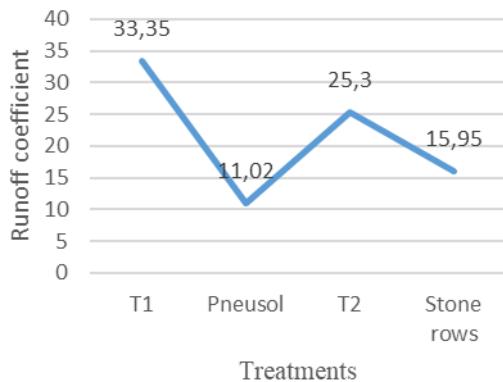


Fig. 5: Average annual runoff.

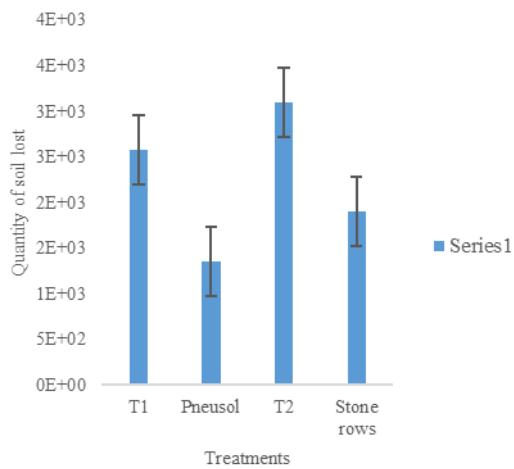


Fig. 6: Amount of soil lost

Effects of factors on soil lost amount

Regarding soil loss, it was found that pneusol and stone rows technologies reduced soil loss compared with control plots. The maximum soil loss was observed on the control plots in September with fourteen rain events.

The peak was 2,576 kg ha⁻¹ and 3,092 kg. ha⁻¹ respectively in plots T1 and T2. For the same period,

1,356 kg. ha⁻¹ was lost on pneusol plot and 1907 kg. ha⁻¹ in the stone rows plot.

IV. DISCUSSION

In relation to soil moisture measurements, our results showed that moisture levels were always higher in the managed plots than the controls one. These conclusions corroborate those reported by Samaké (2017), who found a superiority of more than 25% in the case of managed plots [20]. Zoure et al (2017) state that the performance of cultivation practices in improving soil moisture is probably due to the roughness generated by these techniques, which gives them the role of slowing down and storing rainwater. Thus, infiltration is improved at the level of stone rows due to the importance of functional pores (active pores) [21].

The sensitivity of the soil to runoff under different cropping systems was highlighted by the runoff coefficients. Undeveloped plots had the highest runoff coefficients and appeared to be the least conducive to water infiltration into the soil. The results of Zoure et al (2017) show that the stone rows reduce runoff by 30% (+/- 5%) [21]. Pneusol provides a better runoff rate but the scientific literature does not contain any contradictory publications.

The results concerning soil loss corroborate those of Ouédraogo et al. (2019) in Burkina Faso [22], Bwandumuka et al (2021) in R D Congo [23], Dicko et al. 2022 at the Katibougou research station [14], and Akplo et al. (2022) in central Benin [24]. All these studies have demonstrated that managed plots have a much greater tendency to reduce soil loss than control plots.

V. CONCLUSION

The ability of cultivation techniques to limit runoff, promote infiltration and provide moisture to the soil, thereby boosting agricultural production, has been highlighted in this study.

This result provides interesting prospects for farmers who are already experiencing the harmful effects of climate change. The effect of capturing and infiltrating run-off water, combined with soil amendment, makes pneusol and stone rows effective agricultural production techniques on degraded land from the first year of implementation.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the staff of West African Science service center on Climate change and Adapted Land use, in particular the DRP Climate Change and Agriculture (CC & Agric). Sincere thanks and gratitude to the German Federal Ministry of Education.

REFERENCES

- [1] Mounirou LA, Yonaba R, Tazen F, Ayele GT, Yaseen ZM, Karambiri H, et al. Soil erosion across scales: assessing its sources of variation in Sahelian landscapes under semi-arid climate. *Land.* 2022;11(12):2302.
- [2] Touré I, Larjavaara M, Savadogo P, Bayala J, Yirdaw E, Diakite A. Land degradation along a climatic gradient in Mali: Farmers' perceptions of causes and impacts. *Land Degradation & Development.* 2020;31(18):2804–18.
- [3] Bengaly A. Erosion des sols et sédimentation dans le bassin versant de Bélékoni en zone soudanienne du Mali. Université de Bamako (UB); 2009.
- [4] Sanogo K, Birhanu BZ, Sanogo S, Ba A. Landscape pattern analysis using GIS and remote sensing to diagnose soil erosion and nutrient availability in two agroecological zones of Southern Mali. *Agriculture & Food Security.* 2023 Mar 15;12(1):4.
- [5] Traore K, Birhanu ZB. Soil erosion control and moisture conservation using contour ridge tillage in Bougouni and Koutiala, Southern Mali. *Journal of Environmental Protection (TSI).* 2019;10(10):1333–60.
- [6] Guerra CA, Rosa IM, Valentini E, Wolf F, Filippioni F, Karger DN, et al. Global vulnerability of soil ecosystems to erosion. *Landscape ecology.* 2020;35:823–42.
- [7] Ministère des Collectivités territoriales. Programme de développement économique social et culturel (P.D.E.S.C.) 2018 – 2022 Révisé. Avec l'appui Financier du Projet PARIS et de l'accompagnement technique de l'OPDL/PARIIS, de l'Agence de Développement Régional (ADR) de Koulikoro et le Service Local du Plan de la Statistique de l'Informatique de l'Aménagement et de la Population (SLPSIAP) de Koulikoro; 2021 Sep p. 61.
- [8] Nafo. Conservation des sols avec l'aide du SIG et de la télédétection. Exemple d'utilisation d'un SIG et de la télédétection pour l'estimation des pertes en terre dans un petit bassin à l'Ouest du Mali. *Symposium Malien sur les Sciences Appliquées.* Bamako;(142-151.):30.
- [9] Bonté P. Evaluation radio isotopique de l'érosion et du transport sédimentaire en zones soudano-sahéliennes du Mali. Collection « Etudes et Rapports Gihrex ». 2000;26.
- [10] Sanogo K, Birhanu BZ, Sanogo S, Ba A. Landscape pattern analysis using GIS and remote sensing to diagnose soil erosion and nutrient availability in two agroecological zones of Southern Mali. *Agriculture & Food Security.* 2023;12(1):4.
- [11] Sanogo K, Zemadim B, Kizito F. Vulnerability of landscape patterns from a multidisciplinary approach based on remote sensing and GIS in two agroecologies of Mali. 2021.
- [12] Diarra B. Modeling of soil erosion by water in the provinces of Sikasso and Koulikoro (Republic of Mali). Антрапогенная трансформация природной среды. 2021;(2):36–48.
- [13] Birhanu BZ, Traoré K, Sanogo K, Tabo R, Fischer G, Whitbread AM. Contour bunding technology-evidence and experience in the semiarid region of southern Mali. *Renewable Agriculture and Food Systems.* 2022;37(S1):S55–63.
- [14] Dicko G, Bengaly A, Ballo S. Effets des pratiques agricoles sur l'érosion hydrique en zone soudanienne du Mali (station de l'IPR/IFRA de Katibougou). *International Journal of Biological and Chemical Sciences.* 2022;16(1):345–52.
- [15] Luo Z, Zhou X, Su Y, Wang H, Yu R, Zhou S, et al. Environmental occurrence, fate, impact, and potential solution of tire microplastics: Similarities and differences with tire wear particles. *Science of the Total Environment.* 2021;795:148902.
- [16] Kumar M, Xiong X, He M, Tsang DC, Gupta J, Khan E, et al. Microplastics as pollutants in agricultural soils. *Environmental Pollution.* 2020;265:114980.
- [17] Mali : une solution innovante pour les pneus usés [Internet]. 2017 [cited 2024 Jan 31]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=aV8bmS7nKIM>
- [18] Coulibaly M. Pratiques de gestion des espaces agricoles et leurs impacts sur les ressources naturelles dans la zone soudano-sahélienne : cas de la commune de Méguetan. IPR/IFRA de Katibougou; 2022.
- [19] IUSS-WRB. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria.; 2022 Dec. Report No.: 4th edition.
- [20] SAMAKE A. Estimation de l'érosion des sols sous culture en zone soudanienne du Mali : cas du village de Kani (cercle de Koutiala). Mali: IPR/IFRA de Katibougou; 2017 p. 88.
- [21] Zouré CO, Karambiri H, Dial N, Queloz P, Koita M, Fowé T, et al. Impacts des pratiques culturales sur le fonctionnement des hydrossystèmes dans le bassin versant de Tougou au Burkina Faso. In 2-4 octobre 2017; 2017.
- [22] Ouedraogo B, Kabore O, Kabore M. Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences.* 2019;13(3):1638–53.
- [23] Bwandamuka FMK, Mukalay JB, Ndandula FK, Masangu FK, Kasongo MM, Makanda GM, et al. Évaluation du risque d'érosion sur quelques sols de la plaine de Lubumbashi, RD Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences.* 2021;15(5):2095–117.
- [24] Akplo TM, Alladassi FK, Zoundji MCC, Avakoudjo J, Houngnandan P, Dagbénoubaïn DG, et al. Impact of conservation tillage on runoff, soil loss, and soil properties on acrisols and ferralsols in central Benin. *Canadian Journal of Soil Science.* 2022;102(03):659–71

Utilisation des Cultures Pièges dans la Gestion des Insectes Ravageurs et la Production du Cotonnier

Seydou DIALLO¹, Laya KANSAYE^{1*}, Mahamoudou TRAORÉ¹, Biton TRAORÉ, Alpha Seydou YARO², Ali DOUMMA³

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou, Mali

²Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB) de Bamako, Mali

³Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

*kansayel@gmail.com

RÉSUMÉ : Le coton est une plante très appréciée d'un grand nombre d'insectes phytophages. Ainsi, en production conventionnelle, les cotonculteurs font recourt à de nombreux pesticides chimiques de synthèse, parmi lesquels on dénombre beaucoup d'insecticides souvent nuisibles pour la santé de l'homme et son environnement. Il existe toutefois des alternatives avérées aux produits chimiques de synthèse parmi lesquels l'utilisation des plantes de services qui permettent de réguler directement ou indirectement les attaques des nuisibles phytophages en les repoussant, les attirant ou en les détournant. Ainsi, l'étude de la pratique d'utilisation des plantes pièges pour assurer un biocontrôle des insectes ravageurs du cotonnier a été menée sur les parcelles de recherche du village de Korokoro dans la commune rurale de Zan coulibaly en vue d'augmenter la productivité du cotonnier dans un environnement sain.

Le dispositif expérimental utilisé pour la réalisation de ces travaux est un bloc de Fischer à 3 répétitions et 5 traitements. A l'issu de ces travaux de recherche de contrôle des insectes nuisibles du cotonnier, *Bemisia tabaci* apparaît comme l'insecte le mieux piégé par les cultures pièges avec 50 individus par plant, il est suivi par *Empoasca fascialis* avec 18 individus/plant avec de différences significatives entre les traitements $P < 0,001$ aux différentes dates d'observations. Les dégâts causés sur les organes de reproduction ont été de 0,2 à 0,66 boutons floraux sur le cotonnier en association avec les plantes pièges contre 1,33 boutons floraux sur le traitement témoin qui a demeuré le plus attaqué. Les fleurs pourries sont notés seulement sur le traitement cotonnier avec l'oseille de guinée en intercalaire et celui du témoin avec 0,44 fleurs pourries. Les meilleurs rendements ont été obtenus dans les parcelles où le gombo est implanté en bordure avec un rendement de 2 639 kg/ha.

Les résultats de l'essai montrent que l'utilisation du gombo et de l'oseille de guinée comme cultures pièges en production du coton permettent de diminuer les populations des ravageurs phytophages du cotonnier. Il est donc important de bien cibler le (ou les) ravageurs à réguler ou les auxiliaires à favoriser afin d'orienter le choix des plantes de services à planter à l'intérieur et/ou en bordure des parcelles.

Mots clés : Cotonnier, biocontrôle, insecte phytopophage, plantes pièges, Mali.

INTRODUCTION

Au Mali, la culture cotonnière est encore la locomotive du développement rural et un levier majeur de lutte contre la pauvreté [1]. Selon Tereta [2] la vente du coton participe à hauteur de 8 % au Produit Intérieur Brut (PIB) et procure 30 à 45 % des recettes d'exportations. Cependant, les insectes ravageurs représentent une contrainte majeure à l'augmentation des rendements en Afrique de l'Ouest, avec des pertes de récolte de l'ordre de 25 % en moyenne malgré les traitements insecticides [3]. Plus de 200 espèces ont été identifiées, mais seules quelques-unes sont réellement très nuisibles [4] parmi lesquels *Bemisia tabaci* et de *Empoasca fascialis*. Il est observé, depuis ces dernières années, une émergence de certains ravageurs dont le jasside *Jacobiella facialis*. En effet, un grand nombre de producteurs se plaignent de la persistance des attaques de cette cicadelle [5]. Les larves et les adultes piquent les nervures secondaires des feuilles et introduisent une salive毒ique qui provoque la

décoloration du limbe. Les piqûres provoquent le jaunissement des bordures de feuilles. Quant à la mouche blanche, *Bemisia tabaci*, elle affiche une recrudescence dans la zone de production cotonnière d'Afrique de l'Ouest. *B. tabaci* cause des dégâts directs par ponction de la sève qui entraîne un dépérissement des plantes et un desséchement des organes fructifères du cotonnier [6]. Les dégâts indirects qui sont les plus importants se caractérisent par la transmission de viroses et la sécrétion de miellats provoquant une dépréciation qualitative de la fibre de coton. Le recours aux pesticides demeure le principal moyen de lutte contre ces fléaux a montré certaines limites comme des risques pour la santé humaine, le développement de résistances des cibles, mais également un effet délétère sur les écosystèmes, avec une altération des services de régulation naturelle [7]. Cependant, la mise au point et la diffusion de solutions alternatives aux pesticides constitue un enjeu stratégique pour une production cotonnière durable en Afrique de l'Ouest. Avec la mise en place de méthodes prophylactiques,

l'introduction des plantes pièges dans le contrôle des ravageurs du cotonnier et de leurs ennemis naturels, certains pays se sont déjà engagés dans cette voie. Ainsi, malgré son image de culture dépendante des pesticides [8], la culture cotonnière continue à constituer un cas d'école pour la conception de nouveaux systèmes de protection des plantes cultivées [9]. Le changement des pratiques, au bénéfice de la mobilisation des services de régulation écologique des bioagresseurs, constitue encore une voie à explorer pour mettre au point des modèles d'intensification écologique de la production agricole. Ceux-ci doivent permettre d'accroître la productivité des systèmes agricoles (produire plus) et de diminuer la dépendance des producteurs vis-à-vis des pesticides (produire mieux). Ces difficultés ont surtout affecté les superficies emblavées en cotonnier et la tendance à la baisse et/ou à la stagnation des rendements, observée également dans d'autres pays africains. La réduction de l'utilisation d'insecticides en culture cotonnière au Mali reposera désormais sur la recherche et la diffusion de nouvelles approches de lutte contre les principaux insectes ravageurs qui amélioreront la productivité et la santé des principaux acteurs de production de coton.

MÉTHODOLOGIE

Site de l'essai

La commune rurale de Zan Coulibaly est située dans le cercle de Dioila. Elle couvre une superficie de 362 km². Elle est composée de quarante-deux (42) hameaux repartis entre neuf (09) villages. La population de la commune de Zan Coulibaly est estimée à 18 490 habitants [10] avec 51,08 /km².

Matériel Végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de cotonnier (*Gossypium hirsutum*), variété STAM-59A, le gombo (*Abelmoschus esculentus*), variété « « yellen » ». L'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdarifa*) de la variété « « dadié » » (Traoré et al., 2006).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fisher à trois répétitions et 5 traitements.

- T1. Parcelle au mode de semis intercalaire avec 2 lignes d'oseille de guinée alternée avec 4 lignes de cotonnier.

- T2. Parcelle au mode de semis intercalaire avec 2 lignes de gombo alternée avec 4 lignes de cotonnier répété deux fois.

- T3. Parcelle avec le système de culture en bordure, avec 1 ligne d'oseille de guinée tout autour du cotonnier.

- T4. Parcelle avec le système de cultures en bordure avec 1 ligne de gombo tout autour du cotonnier.

- T0. Parcelle témoin constitué de culture pure de cotonnier

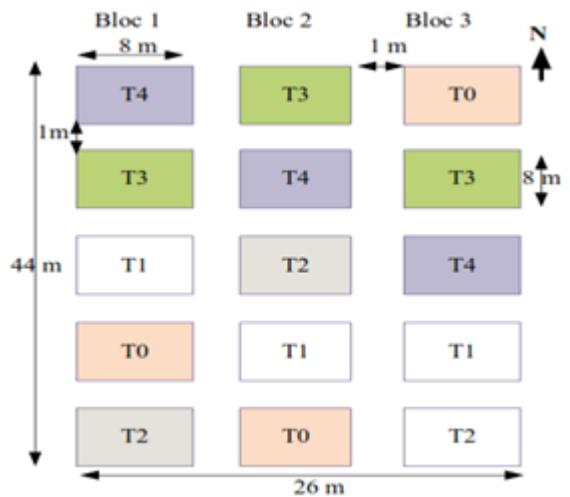


Figure 1: Plan de masse

Conduite de l'essai

Un labour à plat d'environ 15 cm de profondeur de la parcelle d'implantation de l'essai a été effectué le 30 juin 2022 à la charrue. Le semis a été réalisé au 1er juillet 2022. Quant au gombo et l'oseille de guinée, ils ont été semés 3 semaines après l'installation du cotonnier. Chaque répétition a reçu 572 kg soit 7623 k/ha de formure organique comme la fumure de fond, la deuxième tranche a été apportée le 10 août à la dose de 300 kg/900 m² soit 3333kg/ha. Les parcelles ont bénéficié de deux sarclages dont le premier a été réalisé le 25 juillet 2022 et le deuxième au 60ème jour après le semis. Un seul buttage a été réalisé au 80ème jours après le semis et les désherbages ont été effectués à la demande. La récolte a été faite à la main après l'ouverture des capsules et libérées les fibres du au mois de novembre 2022.

Observations entomologiques, agronomiques et phytosanitaires

Les observations entomologiques se faisaient chaque semaine et ont porté essentiellement sur l'évolution des insectes ravageurs. Le choix des plants à observer : Pour les modes de semis intercalaires 6 plantes pièges soit 3 plants sur chacune des lignes et 6 plants de cotonnier ont été choisis au hasard sur la diagonale. S'agissant du mode de semis en bordure les plantes pièges de chaque côté de la parcelle élémentaire soit 6 plantes pièges par parcelle élémentaire et 6 plants de cotonnier sur la diagonale. Concernant les parcelles témoins, 6 plants ont été également marqués sur la diagonale. Au total, 9 observations entomologiques ont été réalisées.

Les observations agronomiques ont été faites chaque 15 jours à partir du 35ème JAS jusqu'au 80ème JAS et ont porté sur la mesure de la hauteur et le diamètre des plants du cotonnier marqués.

Les observations sanitaires ont débuté le 80^{ème} JAS et ont terminé au 125^{ème} JAS. Elles ont porté sur l'état phytosanitaire des organes aériens du cotonnier (fleurs, boutons floraux et capsules).

Traitement des données collectées

Les données ont été analysées avec le logiciel Genstat édition 12 pour déterminer la variance entre les traitements. Les moyennes sont comparées avec le test de Student- Newman-Keuls au seuil de $\alpha = 5\%$.

RESULTATS

Evolution des populations de *B. tabaci* sur les cultures pièges et le cotonnier

On remarque qu'à la date de la première observation jusqu'à la 4ème date d'observation sur les deux modes de culture du cotonnier, l'infestation des cultures par *B. tabaci* est estimée moins accrue dont le nombre varie entre 0 et 9 individus/plant (figure 2). Il a atteint son premier pic sur le traitement de cotonnier entouré par le gombo et de l'oseille à la date du 63^{ème} jour après semis dont le nombre d'individu maximum est de 50/plant. *B. tabaci* a connu son 2^{ème} et 3^{ème} pic respectif sur le cotonnier en mode intercalaire et sur le cotonnier en mode bordure aux dates respectives du 70^{ème} et 77^{ème} jour après le semis dont la densité varie entre 11 et 47 individus/plant (figure 2). La densité des populations a diminué sur les différents traitements entre le 84^{ème} et le 91^{ème} jour après semis puis augmenté sur le coton en mode de système de culture bordure. Quel qu'en soit le mode de mise en place des cultures pièges de fortes populations d'insecte de *B. tabaci* ont été attiré par les traitements avec 50 individus par plant, contre 47 individus/plant au maximum sur la culture à protéger. Une différence hautement significative est constatée entre les traitements à la suite de l'analyse de variance au seuil de $\alpha=5\%$ et $P < 0,001$ (Figure 2).

Evolution des populations de *Aphis gossypii* sur les cultures pièges et le cotonnier

On observe que la densité des *Aphis gossypii* était très élevée à la première date d'observation du 35^{ème} jour après semis sur le système de culture du cotonnier en mode bordure puis diminue progressivement jusqu'au 63^{ème} jour après semis avec une densité des populations variant entre 0 et 28 individus/plants (figure 3).

Du 70^{ème} jour après semis, la densité des populations de l'insecte augmente pour atteindre son pic maximum au 77^{ème} jour après semis sur le cotonnier en mode de culture bordure entourée par une ligne de gombo et de l'oseille de guinée et diminue jusqu'aux 91^{ème} jours après semis sur l'ensemble des traitements dont la densité varie entre 1 et 20 individus/plant. Par rapport au contrôle des

Aphis gossypii par les plantes pièges, l'oseille guinée a été plus efficace que le gombo sur le système de culture en mode bordure du cotonnier. On constate qu'il n'y pas de différence significative entre les différents traitements $P=0,778$ au seuil de $\alpha=5\%$ (Figure 3).

Evolution des populations de *E. fascialis* sur les cultures pièges et le cotonnier

Pendant les observations des 5 premières dates, les cultures ont enregistré des populations des *Empoasca fascialis* avec une densité variant de 0 à 11 individus/plant. L'insecte a affiché l'évolution maximale de sa population au 63^{ème} JAS sur le traitement témoin du cotonnier avec les plantes pièges en bordure soit

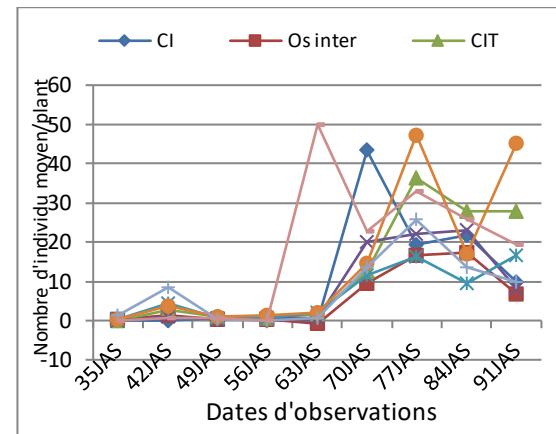


Figure 2 : Évolution des populations de *B. tabaci* sur les cultures pièges et le cotonnier

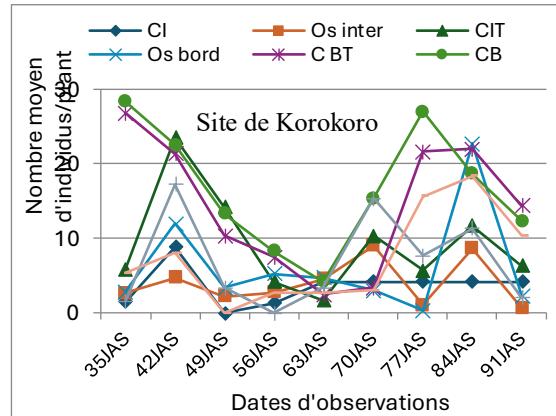


Figure 3 : Évolution des *A. gossypii* sur les cultures pièges et le cotonnier

85 individus/pied de cotonnier. Sur les deux dernières dates d'observation du 84^e et 91^e JAS tous les traitements ont enregistré des densités importantes des *Empoasca fascialis* comprises entre 11 et 38 individus par plant. En effet, toutes les plantes pièges quel que soit le mode de semis ont abrité de nombreux individus avec 18 individus en moyenne. On constate une différence significative entre les traitements avec $P<0,001$ et au seuil de $\alpha=5\%$ (Figure 4).

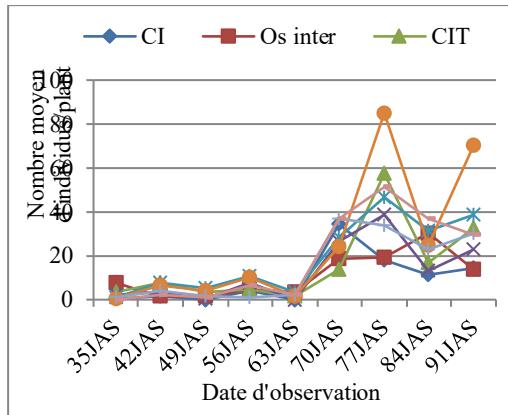


Figure 4 : Évolution des *E. fascialis* sur les cultures piéges et le cotonnier

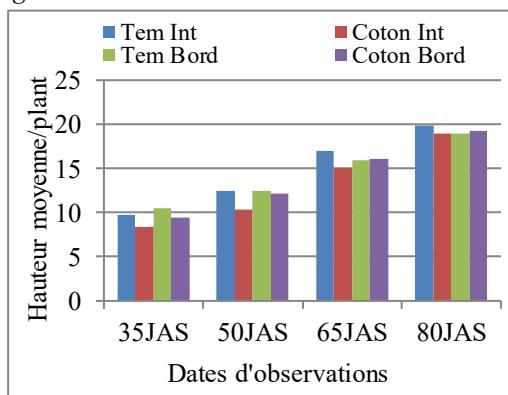


Figure 5 : Hauteur moyenne du cotonnier

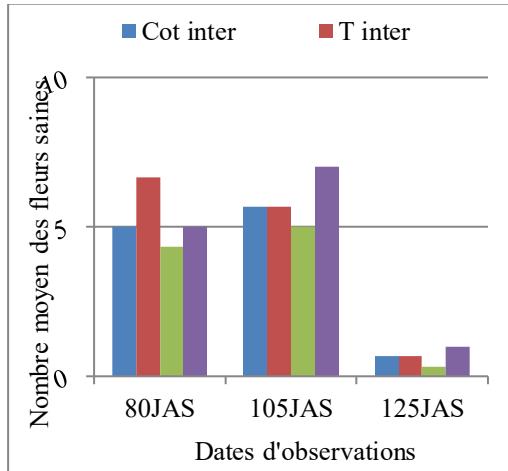


Figure 6 : Nombre moyen de fleurs saines sur les plants du cotonnier

Hauteur moyenne du cotonnier

A partir de 35^{ème} jour après semis jusqu'aux 80^{ème} jours après semis la hauteur des plants a évolué sous forme de dents de scies dans les différents modes de semis des traitements mis en compétition et varie entre 8,39 et 19,22 cm (figure 5). On constate aussi, que la hauteur des plants est plus grande dans les modes d'installation des cultures intercalaires que dans les modes de semis des cultures en bordure dont les valeurs sont comprises entre 16,6 et 19,22 cm par plant au niveau des deux dates d'observation.

Nombre moyen des fleurs saines du cotonnier

A la première date d'observation au 80e jours après semis, on constate que le nombre de fleurs saines est beaucoup plus élevé dans le système de culture en mode intercalaire d'une ligne de gombo et de l'oseille de guinée avec environ 5 à 7 fleurs saines que le système de culture en mode bordure. A la date du 105eme jours après semis, ce nombre dans le système de culture en mode bordure variant ainsi entre 5 à 7 fleurs saines tandis qu'il diminue dans le système de coton intercalaire en passant de 7 à 6 soit une réduction d'une fleur saine. Au 125e jours après semis, le nombre de fleurs saines a considérablement diminué dans les deux modes de cultures et varie entre 0 à 1 fleur saine (figure 6).

Nombre moyen des capsules du cotonnier

On observe que le nombre de capsules saines est plus élevé dans le mode de culture de coton intercalaire, variant entre 4 à 5 que dans le système de culture de coton en mode bordure dont le nombre est de 3 capsules saines (figure 7). A la date de 105 jours après semis, il augmente dans le mode culture de cotonnier portant les plantes piéges en bordure avec 3 à 5 capsules saines et reste stationnaire dans le mode de culture intercalaire. A partir de la date de 125^e jours après semis, il reste constant dans les deux modes de culture soit de 4 à 5 capsules saines pour les modes de culture.

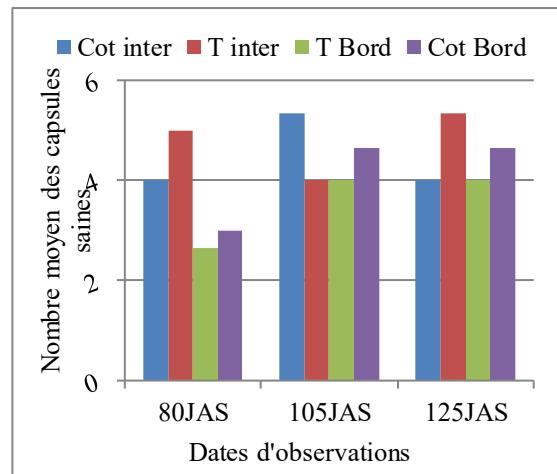


Figure 7 : Nombre moyen des capsules du cotonnier

Evolution de l'état des boutons floraux pourris et troués du cotonnier

De la Première à la troisième date d'observation en passant par la deuxième date, le nombre de boutons floraux pourris est nul dans les deux systèmes de culture tandis qu'aux mêmes dates, le nombre de boutons floraux trouées varie entre 0 à 1,33 dans les deux modes de culture (Figure 8).

Rendement parcellaire du cotonnier

Les résultats de l'analyse des données révèlent une différence significative entre les traitements $P < 0,049$. Le mode de semis du gombo intercalaire avec le cotonnier a donné le meilleur rendement avec 2264

Kg/ha suivi par le traitement coton intercalé avec l'oseille de guinée soit 1778 Kg/ha. Le rendement le plus faible est obtenu sur le témoin avec 1292 Kg/ha (Figure 9).

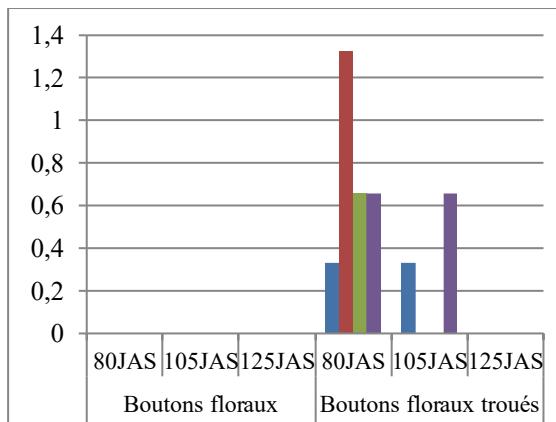


Figure 8: Evolution de l'état des boutons floraux pourris et troués du cotonnier

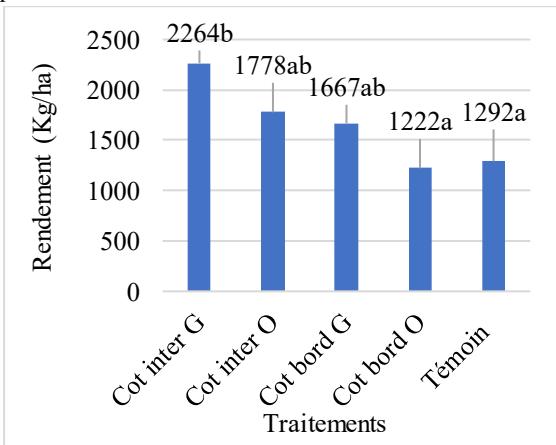


Figure 9 : Rendement parcellaire du cotonnier

DISCUSSION

Aphis gossypii

Les travaux réalisés sur l'association du cotonnier avec les « plants de service », on remarque que le taux d'infestation de l'insecte est considérable sur l'ensemble des traitements des plantes pièges à l'exception du mode de semis de l'oseille de guinée en intercalaire du cotonnier dont les densités varient de 12 à 23 individus/plant. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Diallo [12] qui a montré que la densité d'infestation de l'insecte sur le mode de culture en bordure est de 77 individus par plant.

Bemisia tabaci

Quel qu'en soit le mode de mise en place des cultures pièges de fortes populations d'insecte de *Bemisia tabaci* ont été attirées par les traitements avec 50 individus par plant, contre 47 individus/plant au maximum sur la culture à protéger. Ce qui explique que l'étude de l'évolution saisonnière a

montré une présence de plus en plus précoce de *Bemisia tabaci* sur les jeunes cotonniers, tandis que Ochou et al. [13] ont rapporté une présence de l'insecte généralement en fin de campagne. Les fortes pullulations qu'interviennent dans le mois d'octobre coïncident avec la période de floraison et de formation des capsules. Ces résultats sont proches de ceux Gnankin et al. [14] qui ont fait des observations similaires sur le cotonnier au Burkina Faso, ainsi que Helden et al. [15] respectivement sur le manioc et la tomate. Selon ces auteurs, lors de la fructification des plantes, la quantité d'acides aminés essentiels est importante dans les feuilles offrant ainsi, une meilleure qualité nutritionnelle vis-à-vis des insectes. Le climat plus ou moins sec et chaud lors de la fructification serait également favorable à la prolifération des mouches blanches [16]. La chute du niveau d'infestation serait donc selon ces auteurs, le fait du vieillissement progressif des plantes qui provoquerait l'émigration des mouches blanches vers d'autres plantes-hôtes.

- Hauteur des plants de cotonnier

On constate aussi, que la hauteur des plants est plus grande dans les modes d'installation des cultures intercalaires que dans les modes de semis des cultures en bordure dont les valeurs sont comprises entre 16,6 et 19,22 cm. Nos résultats sont en deçà de ceux obtenus par Mohamed [17] qui découvre au cours de ces travaux de recherche que le plant le plus haut est observé au niveau du témoin avec en moyenne 39,21 cm légèrement au-dessus du cotonnier entouré de plantes pièges (37,83 cm en moyenne).

- Rendement

Le rendement le plus élevé est récolté sur le traitement de la parcelle du cotonnier dont le gombo est en intercalaire du cotonnier pour 2264 Kg/ha suivi du traitement oseille de guinée intercalée avec le cotonnier avec 1778 Kg/ha. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Traoré [18] dont son rendement en coton biologique à l'hectare est de 1129 Kg/ha. Ces niveaux de rendement étaient en partie, les conditions du milieu d'installation de l'essai qui sont différentes et l'influence des facteurs pédologiques.

CONCLUSION

L'étude de l'effet des plantes pièges sur l'évolution des insectes nuisibles du cotonnier est une méthode alternative à promouvoir. L'impact de la pratique est observé sur quelques espèces d'insectes ravageurs rencontrés au cours de nos travaux d'observation. Les densités enregistrées sont également importantes au niveau des deux cultures pièges.

Le *Bemisia tabaci* et *Aphis gossypii* sont mieux piégés par les cultures pièges avec 50 individus par plant, il est suivi par *Empoasca fascialis* avec 18

individus/plant. Quant aux paramètres de production, elles ont connu aussi une certaine amélioration avec une faible infestation des organes sensibles du cotonnier.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. Berti, J. L. Hofs, H. S. Zagbai, and P. Clouvel, “Le cotton dans le monde, place du cotton africain et principaux enjeux. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 10 (4), pp. 271–280.,” 2006.
- [2] I. Tereta, “Contribution à l'amélioration de la protection phytosanitaire de la culture cotonnière au Mali: Effets de l'écimage manuel sur les populations des chenilles de la capsule. Mali: U.S.T.T.B.,” 2015.
- [3] E.-C. Oerke, “Crop losses to pests,” *The Journal of agricultural science*, vol. 144, no. 1, pp. 31–43, 2006, Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/crop-losses-to-pests/AD61661AD6D503577B3E73F2787FE7B2>
- [4] A. Renou and T. Brévault, “Ravageurs et maladies du cotonnier, et gestion intégrée des ravageurs,” 2016.
- [5] P. W. E. Kone *et al.*, “Evolution spatiale et temporelle des dégâts du jasside *Jacobiella facialis* Jacobi, 1912 (Cicadellidae) en comparaison avec la distribution de la pluviométrie au cours des vingt dernières années dans les zones de culture cotonnière en Côte d'Ivoire,” *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 11, no. 3, pp. 1190–1201, 2017.
- [6] G. J. R. Didi *et al.*, “Évolution spatio-temporelle des infestations de la mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) associées à la culture cotonnière en Côte d'Ivoire,” *Journal of Applied Biosciences*, vol. 121, pp. 12202–12210, 2018, Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/jab/article/view/168756>
- [7] A. Renou and T. Brévault, “Ravageurs et maladies du cotonnier, et gestion intégrée des ravageurs,” 2016, Accessed: Jun. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-cirad-fr-580690/Description>
- [8] K. K. Djagni and M. Fok, “Dangers potentiels de l'utilisation des insecticides dans la culture cotonnière au Togo de 1990 à 2010,” 2019.
- [9] P. Ferron, J.-P. Deguine, and J. E. à Mouté, “Evolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école,” *Cahiers Agricultures*, vol. 15, no. 1, pp. 128–134, 2006.
- [10] INSTAT, “Institut National de la Statistiques, République du Mali, division administrative. <Https://www.citypopulation.de/en/mali/admin> 7 janvier 2022.,” 2009.
- [11] S. K. Traoré, K. Mamadou, A. Dembélé, P. Lafrance, P. Mazelliert, and P. Houenou, “Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte-d'Ivoire (Centre, Sud et Sud-Ouest),” *Journal africain des sciences de l'environnement*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2006.
- [12] S. Diallo, “Perception des effets des pesticides chimiques de synthèse par les producteurs et la mise au point d'alternatives à leur utilisation en cotoniculture en zone soudano-sahélienne du Mali,” Katibougou, 2022.
- [13] O. G. Ochou, E. Koto, E. N'guessan, Y. Ouraga, K. E. Tehia, and N. N. Kouadio, “Rapport d'activité 2004-,” 2005.
- [14] O. Gnankiné, D. Traoré, A. Sanon, N. S. Traoré, and A. P. Ouedraogo, “Traitements insecticides et dynamique des populations de *Bemisia tabaci* Gennadius en culture cotonnière au Burkina Faso. Cahiers Agricultures 16(2):101-109.,” 2007.
- [15] Helden. M. Van, Halder. L. Van, and C. Fauquet, “Mouvements et comportement de *Bemisia tabaci* (gennadius) vecteur de la mosaïque africaine du manioc. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en coopération. Abidjan (Côte d'Ivoire), laboratoire de phytovirologie,” p. 91, 1986.
- [16] S. Selvaraj and V. Ramesh, “Seasonal abundance of whitefly, *Bemisia tabaci* Silval, C. A. D. Microorganismosentomopatogênicosassociados a insetos e ácaros do algodoeiro. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2000, (Embrapa CNPA. Documentos, 77),” p. 40, 2012.
- [17] N. Mohamed, “Étude de l'effet des plantes pièges d'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa*) et de gombo (*Abelmoschus esculentus*) sur le biocontrôle des ravageurs inféodés au cotonnier sous les conditions agroécologiques de Katibougou (p. 36),” IPR/IFRA de Katibougou, Fin de cycle, 2023.
- [18] M. Traoré, “Méthode de gestion des ennemis de la culture du coton comme mesure d'adaptation face aux effets néfastes du changement climatique en zone soudano-sahélienne du Mali : Cas d'écimage,” Katibougou, 2023.

Tolérance au flétrissement bactérien causé par *Ralstonia Solanacearum* (Rs) de la tomate (*Solanum lycopersicum*) greffée sur l'aubergine (*Solanum melongena*) au Mali

Raki DIALLO^{1*}, Florine M. KOAGNE¹, John R. NZUNGIZE¹, Halimatou TIMBINE², Karim DAGNO²,

¹Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC)

²Institut d'Économie Rurale, Bamako, Mali

rakidiallo09@gmail.com; karimdagno@yahoo.fr; halimatoutimbine@gmail.com; john.nzungize@worldveg.org; florinekoagnem@gmail.com

RÉSUMÉ : La production de la tomate est fortement menacée par le flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* dans les bassins maraîchers du Mali. Ce travail a visé la prospection des méthodes de lutte durable basée sur la résistance / tolérance génétique contre la maladie par le criblage des variétés de tomate greffées sur différents porte greffes d'aubergine. Les tomates greffées ont été inoculées par la souche Tsb018 de *R. solanacearum* issue de la collection de microorganismes du laboratoire de phytopathologie de l'Institut d'Économie Rurale (IER) du Mali. L'essai a été disposé en bloc aléatoire complet avec quatre répétitions. Les observations et mesures ont porté sur la sensibilité des variétés greffées, au flétrissement bactérien. Les résultats obtenus ont montré que l'incidence du flétrissement bactérien est de 0 % chez les plants d'aubergines et 25 % chez les plants de tomate greffés sur les quatre variétés d'aubergine. Par ailleurs, l'incidence de la maladie et la mortalité des plants non greffés de tomate a été de 100 %. Les porte-greffes d'aubergine résistantes / tolérantes au flétrissement bactérien offrent une résistante modérée aux variétés de tomate vis-à-vis du flétrissement bactérien.

Mots-clés : Résistance, Tomate, *Ralstonia solanacearum*, aubergine, greffage.

I. INTRODUCTION

La tomate (*Solanum Lycopersicum*) est omniprésente et le plus important fruit des cultures végétales produite partout dans les zones tropicales et subtropicales et une constitue une importante source de nutriments contenant les vitamines A et C, les antioxydants et les caroténoïdes [5,8].

La consommation de légumes contribue à améliorer le statut nutritionnel de la population. En effet le Mali connaît des niveaux d'insécurité alimentaire et de malnutrition élevés [4]. La production de légumes est rendue difficile pendant la saison chaude et humide à cause des fortes pluies (sols détrempés et inondés), des températures et hygrométries élevées (perturbation de la nouaison) et des maladies qui peuvent limiter considérablement le rendement. Le greffage de l'aubergine, mais également de la tomate, sur porte-greffes sélectionnés (d'aubergine et de tomate) permet de limiter les problèmes d'asphyxie racinaire et l'incidence négative des maladies du sol sur la production [2,7]. Le greffage de l'aubergine et de la tomate est un moyen de lutte de plus en plus développé dans les pays tropicaux ou subtropicaux car il permet une meilleure production en zones infestées par *Ralstonia Solanacearum*. Au Japon par exemple, plus de 80% de la production de tomates sont réalisées sur plants greffés. Au Bangladesh, où le flétrissement cause également des pertes importantes dans les cultures d'aubergines, les plants greffés sont largement utilisés [10].

A Taiwan, l'Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC) a sélectionné des

porte-greffes résistants à plusieurs maladies telluriques (*R. solanacearum*, *Pseudomonas corrugata*, *Fusarium* sp.).

En 2003, nous avons introduit de l'AVRDC différents porte-greffes de tomate et une porte greffe d'aubergine et nous les avons multipliés en station. L'essai mis en place pendant la saison des pluies 2003/2004 avait pour objectif d'évaluer la résistance de différents porte-greffes de tomate et d'aubergine au flétrissement bactérien (*R. solanacearum*), à la moelle noire (Ps. corrugata) et d'évaluer le potentiel de production de la variété de tomate Calinago F1 greffée sur ces différents porte-greffes. Il s'agit du premier essai de ce type mis en place à Mayotte sur tomate. Cette étude a été mise en place pendant la saison des pluies 2023/2024 et avait pour objectif d'évaluer la résistance de différents porte-greffes de tomate et d'aubergine au flétrissement bactérien (*R. Solanacearum*). Il s'agit du premier essai de ce type mis en place à la station de recherche à WorldVeg Mali.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2. Matériel

2.1 Matériel végétal

Trois variétés de tomate certifiées de WorldVeg ont été utilisées et une variété commerciale, ROMA. Les porte greffes d'aubergine ont été précédemment identifiés comme présentant une certaine résistance au flétrissement bactérien à Taiwan, en conditions de plein champ au Mali et au Burkina-Faso. Une

pépinière a été faite pour chaque variété. Des pots en plastique ont été remplis par du terreau préalablement stérilisé au bois de chauffe pendant 48 heures et par la technique de solarisation.

Greffon : Tomate

- AVTO 1122
- AVTO 1717
- ROMA
- ICRISINA

Porte-greffe : Aubergine

- VI041945
- VI041976
- VI041979-A
- VI041943

2.2 Matériel bactérien

La culture pure de la souche tsb018 de *R. solanacearum* isolée à Banguinéda a été utilisée dans cette étude. *R. solanacearum* est une bactérie facile à cultiver, sa croissance rapide facilite son identification lors de l'isolement.

L'inoculum a été préparé à partir d'une culture bactérienne pure de 72 heures de la souche tsb018 de *R. solanacearum* sur l'agar nutritif, avec de l'eau distillée stérile pour obtenir une suspension bactérienne de 10^8 CFU/ml. Les jeunes plants greffés de 15 jours seront inoculés avec la suspension bactérienne préparée au laboratoire aux concentrations de 10^8 CFU/ml. Une tranchée verticale à 2-3 mm des racines est réalisée dans chaque pot. Cette action permet de produire de légères blessures des racines afin de faciliter la pénétration des bactéries à travers les systèmes racinaires de la plante. Ensuite, ces tranchées sont arrosées avec 20 ml de la suspension bactérienne puis recouverte avec le terreau. Une deuxième inoculation à raison de 20 ml de la suspension de 10^8 CFU/ml a été faite une semaine après la première. Les plants repiqués ont été arrosées après 24 heures d'inoculation, puis de façon régulière pour une humidité convenable au développement des plants.

3. Méthodologie

L'expérience été conduite sous serre à la station de recherche de WorldVeg à Samanko. Cette serre est équipée d'un système d'aération avec température interne de 28 à 30°C.

4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc- Fisher avec 16 modalités en 4 répétitions. Les 16 modalités impliquent la combinaison des quatre variétés de tomate greffées avec les quatre variétés d'aubergine.

5. Collecte des données

L'évaluation est faite par observations des parties aériennes des plantes à la détection de symptômes de flétrissement à intervalle de 5 jours.

L'incidence de la sévérité du flétrissement des plants

est déterminée après inoculation. L'incidence de la maladie sera évaluée en pourcentage du nombre de plants malades quel que soit le degré de symptômes suivant la formule :

- $I = (NPF/NTP) * 100$
- I : incidence du flétrissement bactérien ;
- NPF : nombre de plants flétris ;
- NPT : nombre total de plants évalués.
- Le comportement des variétés vis-à-vis du flétrissement bactérien après inoculation sera déterminé en estimant la sévérité de la maladie suivant l'échelle de cotation de 5 classes utilisée par Sidikou seyni et al. (2005).
- Échelle de cotation de la sévérité de maladie : 0 = 0 ; 1 = <5 (1 feuille flétrie) ; 2 = 5 à 25 ; 3 = 25 à 50 ; 4 = 50 à 75 ; 5 = 75 à 100

On observera l'évolution des différents indices de flétrissement et des effets jusqu'à 60 jours après inoculation. La température sous serre sera maintenue entre 28 à 30°C, les données des feuilles flétries seront prélevées deux fois par semaine (lundi et Jeudi), les données des indices de flétrissement à différentes dates nous permettront d'évaluer la sévérité de la maladie à ces mêmes dates et son évolution au cours du temps.

Analyse statistique

Les données collectées seront saisies sur Excel puis importées sur Genstat pour l'analyse statistique (ANOVA, la corrélation, la comparaison des moyennes, etc...)

III. RESULTATS

Au cours de cette étude, l'évolution de l'Indice du Flétrissement Bactérien(IFB) au cours du temps est évaluée comme suit :

3.1 Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate AVTO1717 greffée sur différents types d'aubergine

La figure 1 montre l'évolution de la maladie bactérienne causée par *Ralstonia Solanacearum* (Rs) en fonction du temps de la variété de tomate AVTO1717 greffée sur différents types d'aubergine. Les résultats obtenus par les traitements, T7, T8 montrent que les tomates greffées sur différentes variétés d'aubergines qui n'ont pas été traités avec la colonie bactérienne n'ont pas été malades avec une incidence de 0% au bout de 60 jour de développement. Par contre les traitements T5 et T6 ont indiqué un flétrissement de 5% au 60^{ème}JAI. Le traitement TEI, variété de tomate inoculée par la bactérie non greffée a montré une évolution progressive jusqu'à la mort en fonction du temps.

L'évolution de la maladie se résume en quatre phases. La première phase correspond à un début de l'apparition de la maladie avec une incidence de 25%. Une deuxième phase active de l'évolution du

flétrissement soit 50%. En effet, la troisième phase ou l'indice du flétrissement bactérien a atteint 75% cela en 50^{ème} JAI. La quatrième et dernière phase pendant laquelle, après 50 jours la plante de la tomate est morte soit une IFB de 100% mais cette phase a été caractérisée par un indice constant jusqu'au 60^{ème}JAI. Les traitements T1, T3 et T4 modérément résistants issus du greffage la variété de tomate AVTO1717 greffée sur différents types d'aubergine ont enregistré un indice de 25%, le T2 a obtenu un taux de flétrissement de 50% moyennement sensible mais les deux témoins TEN avec 5%, TEI 100%(mort des plants de tomate) de flétrissement au 60 JAI (Figure 1).

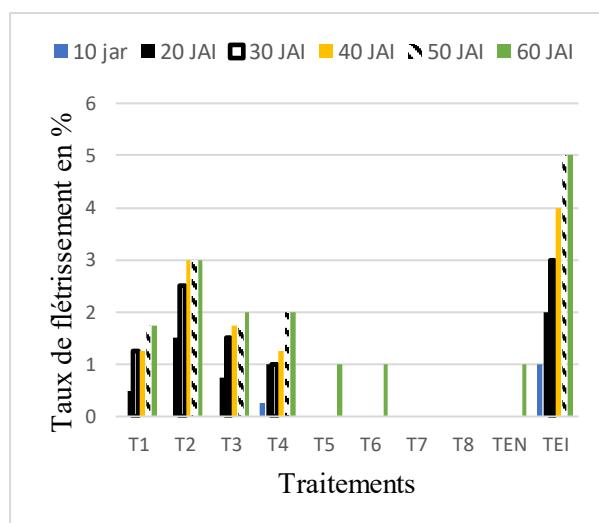


Figure 1 : Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate AVTO1717 greffée sur différents types d'aubergine utilisés comme porte-greffes contre la maladie. JAI : Jour Après Inoculation, T1 : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041979-A inoculée, T2 : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041976 inoculée ; T3 : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041943 inoculée ; T4 : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041945 inoculée ; T5(~T25) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041979-A Non Inoculée , T6(~T26) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041976 Non Inoculée ; T7(~T27) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041943 Non Inoculée ; T8(~T28) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041945 Non Inoculée ; TEN(~T19) : Tomate AVTO1717 Non greffée Non Inoculée , TEI(~T23) : Tomate AVTO1717 Non greffée Inoculée.

3.2 Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate ICRISINA greffée sur différents types d'aubergine

Le graphique de la figure 2 illustre l'évolution du flétrissement bactérien en fonction du temps de la variété de tomate ICRISINA greffée sur différents types d'aubergine. Les observations montrent une

variabilité de la maladie, les variétés de tomates greffées T6, T7, ont manifesté une résistance accrue au flétrissement (0%). Cependant les traitements T1 et T4 variétés de tomates greffées et inoculées ont montré une sensibilité au flétrissement bactérien respectivement au 50 jour et 60 jours (48%). La variété de tomate inoculée (TEI) s'est montrée sensible durant toutes les périodes d'observation soit : 5%(20 JAI) ; 25%(30 JAI) ; 75% (40 JAI). Mais cette variété TEI est morte au 50jours soit 100% d'IFB maintenue constante même aux 60 JAI. Les traitements T2 et T3 ont été modérément résistants à la maladie du flétrissement bactérien avec un IFB de 25%, les traitements T1 et T4 ont été moyennement résistants avec 50% (Figure 2).

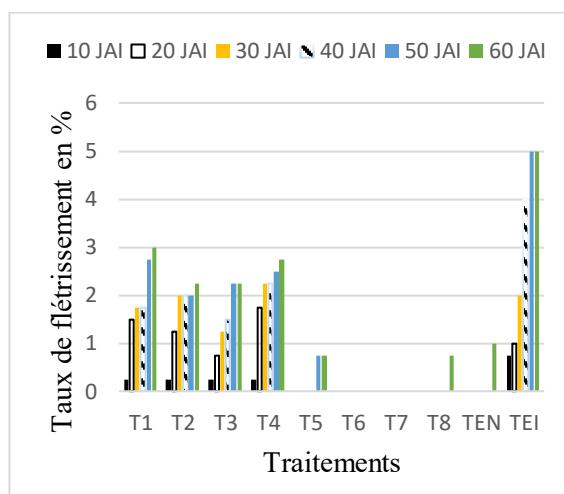


Figure 2 : Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate ICRISINA greffée sur différents types d'aubergine utilisés comme porte-greffes contre la maladie. JAI : Jour Après Inoculation, T1 (~T5) : Tomate ICRISINA greffée sur Aubergine VI041979-A inoculée, T2 : Tomate ICRISINA greffée sur Aubergine VI041976 inoculée ; T3 : Tomate ICRISINA greffée sur Aubergine VI041943 inoculée ; T4 : Tomate ICRISINA greffée sur Aubergine VI041945 inoculée ; T5(~T29) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041979-A Non Inoculée , T6(~T30) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041976 Non Inoculée ; T7(~T31) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041943 Non Inoculée ; T8(~T32) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041945 Non Inoculée ; TEN(~T18) : Tomate AVTO1717 Non greffée Non Inoculée , TEI(~T22) : Tomate ICRISINA Non greffée Inoculée.

3.3 Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate ROMA greffée sur différents types d'aubergine utilisés comme porte-greffes contre la maladie.

Quant à la figure 3, elle regroupe l'évolution de la maladie bactérienne au sein de la population de la variété de tomate ROMA greffée sur les types de

porte-greffes d'aubergine en fonction de la durée de végétation. Les traitements T5, T7 des variétés de tomates greffées ont montré une résistance face à l'agent pathogène avec un indice de flétrissement de 0%. La variété de tomate Roma (TEI) non greffée et inoculée a manifesté une évolution phasique de la maladie en fonction du temps, cette progression de la maladie s'est déroulée en quatre phases : la première phase s'opère par la manifestation de la maladie avec un indice de sévérité de 5%. La deuxième étape de la progression de la maladie coïncide avec une nette sévérité de 25 à 50%. Au 50^{ème} jour après inoculation, le flétrissement bactérien s'était généralisé sur 75% de la plante sensible et au 60^{ème} jour, il a atteint 100% de la plante, ce qui a entraîné également la dégénérescence totale c'est-à-dire la mort des plants. Les traitements T1, T3 et T4 ont été moyennement résistants avec 50% d'IFB. Pour le traitement T2, il a enregistré un taux de flétrissement bactérien d'un plus de 27% (Figure 3).

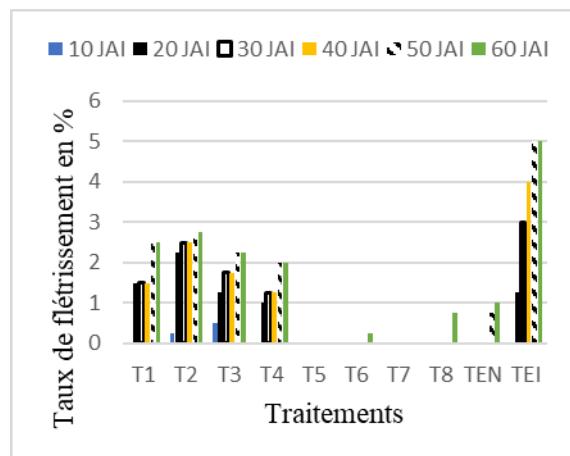


Figure 3 : Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate ROMA greffée sur différents types d'aubergine utilisés comme porte-greffes contre la maladie. JAI : Jour Après Inoculation ; T1 (~T9) : Tomate ROMA greffée sur Aubergine VI041979-A inoculée, T2 (~T10) : Tomate ROMA greffée sur Aubergine VI041976 inoculée ; T3 (~T11) : Tomate ROMA greffée sur Aubergine VI041943 inoculée ; T4 (~T12) : Tomate ROMA greffée sur Aubergine VI041945 inoculée ; T5 (~T33) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041979-A Non Inoculée , T6 (~T34) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041976 Non Inoculée ; T7 (~T35) : Tomate ROMA greffée sur Aubergine VI041943 Non Inoculée ; T8 (~T36) : Tomate AVTO1717 greffée sur Aubergine VI041945 Non Inoculée ; TEN (~T20) : Tomate ROMA Non greffée Non Inoculée , TEI (~T24) : Tomate ROMA Non greffée Inoculée.

3.4 Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate AVTO1122 greffée sur différents types d'aubergine utilisés comme porte-greffes

Le graphique de la figure 4 montre l'évolution de la maladie bactérienne au sein de la population de la

variété de tomate AVTO1122 greffée sur les types de porte-greffes d'aubergine en fonction de la durée de végétation. Les observations indiquent que certaines tomates greffées (T5, T6, T7, T8) sur différentes variétés d'Aubergines ne présentaient pas de symptôme de flétrissement (0%). Pour ces traitements ci-dessus l'indice n'a pas évolué jusqu'à la fin du test expérimental. Par conséquent la variété de tomate non greffée mais inoculée par l'agent causal (TEI) a un indice de flétrissement bactérien qui a évolué en fonction du temps. L'évolution de la maladie a été faite suivant cinq étapes, une première correspondant à un faible indice (7%) aux 10 jours. La deuxième phase montre que le flétrissement a atteint un taux un peu plus de 25%. La troisième phase affiche un IFB de 75% au 40^e jour et est resté constant qui dure environ dix jours après. L'évolution du flétrissement se termine par la quatrième phase caractérisée par un indice de la sévérité de 100% la mort assurée (Figure 4).

La manifestation du flétrissement bactérien est irréversible dès que la contamination est effective et elle entraîne inexorablement la mort de cette plante. Certaines variétés de tomates greffées ont montré une résistance significative au flétrissement bactérien (Incidence 0%). Par ailleurs, toutes les plantes de tomate qui n'ont pas reçu de greffage sur aubergine ont significativement illustré une grande sensibilité qui a entraîné leur dégénérescence (Incidence 100%). Les traitements T1, T2 et T3 ont eu une incidence comprise entre 20 et 25% (modérément résistants flétrissement bactérien).

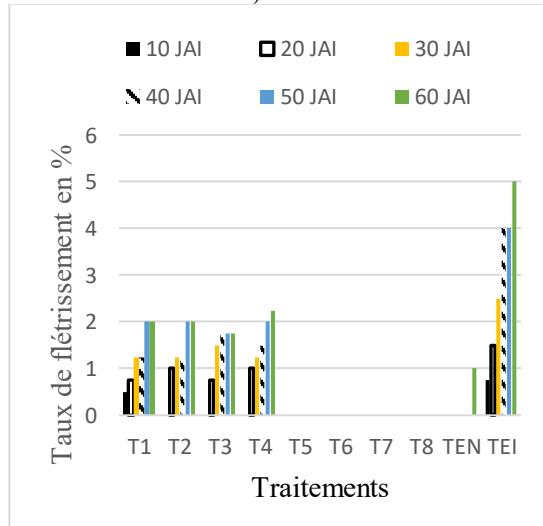


Figure 4 : Evolution du flétrissement bactérien sur la variété de tomate AVTO1122 greffée sur différents types d'aubergine utilisés comme porte-greffes contre la maladie. JAI : Jour Après Inoculation ; T1 (~T13) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041979-A inoculée, T2 (~T14) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041976 inoculée ; T3 (~T15) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041943 inoculée ; T4 (~T16) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041945 inoculée ; T5 (~T37) : Tomate

AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041979-A Non Inoculée , T6(~T38) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041976 Non Inoculée ; T7(~T39) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041943 Non Inoculée ; T8(~T40) : Tomate AVTO1122 greffée sur Aubergine VI041945 Non Inoculée ; TEN(~T17) : Tomate AVTO1122 Non greffée Non Inoculée , TEI(~T21) : Tomate AVTO1122 Non greffée Inoculée.

IV. DISCUSSION

Les résultats obtenus ont montré le succès des greffages effectués. En effet les plants d'aubergine utilisés comme porte greffe ont été résistants face au flétrissement bactérien causé par *R. solanacearum* avec 0% de mortalité. Ces résultats sont en accord avec ceux de [7] et [9]. Ces auteurs ont montré que le greffage sur porte-greffe résistant permet de lutter contre le flétrissement bactérien. En effet les tests réalisés sur l'aubergine sauvage Surya(EG203) ont montré qu'elle possède un très bon niveau de résistance. Pendant deux ans, cette aubergine sauvage a montré une importante résistance au flétrissement bactérien sur trois lignées de tomates [8]. Les plants de tomates ont donc reçu la résistance du porte greffe « *S. torvum* ». Les plants d'aubergine et les plantes de tomates greffées sur les différentes variétés d'aubergine ont tolérés la maladie avec une incidence de 0%(aubergines) et un peu plus de 12%(tomates greffées). Ces résultats se rapprochent de ceux de [3]. Selon lesquels une variété est dite résistante lors sa performance est stable et ne dépasse pas 10% d'incidence de flétrissement bactérien. Elle est qualifiée très sensible à partir de 90% d'incidence. Ce qui nous permet de dire que les quatre variétés de tomates utilisées sont sensibles à *R. Solanacearum*. Par contre certaines variétés sont résistantes face au flétrissement bactérien et cette résistance a permis de protéger les tomates greffées. Les traitements T3 et T4 issue du greffage la variété de tomate AVTO1717 greffée sur différents types d'aubergine, les traitements T2 et T3 du greffage la variété de tomate ICRISINA greffée sur différents types d'aubergine, les produit du greffage de la variété de tomate ROMA greffée sur différents types d'aubergine notamment les traitements T3 et T3 ainsi que les traitements les traitements T1,T2 et T3 de la greffe de la variété de tomate AVTO1122 greffée sur différents types d'aubergine ont obtenu un indice de flétrissement situé entre 5 à 25% modérément résistants corrobore avec les résultat de(AVRDC,2020)selon qui si l'indice de flétrissement est comprise entre 20 à 40% est dite modérément résistant, entre 0 à 20% considéré résistant , 40 à 60% modérément sensible

et plus de 60% sensible.

V. CONCLUSION

Les tests ont monté que certaines variétés d'aubergine utilisées comme porte-greffes (VI041943, VI041979-A et VIO41945) sont modérément résistantes au flétrissement bactérien causé par *Ralstonia solanacearum* (Rs). En outre ce travail indiquerait que ces variétés prises en tant que porte greffe pour les variétés de tomate même sensibles à l'origine, elles permettent à la tomate d'être produite dans des zones même contaminées par *R. solanacearum*. Au terme de ce travail, il est important d'approfondir cette ébauche prometteuse de la lutte contre le flétrissement bactérien en testant d'autres souches de la bactérie. Aussi faut-il passer à l'évaluation plein champ de la méthode.

REFERENCES

- AVRDC (accessed on 26 May 2020). Preliminary Screening of Resistance to Bacterial wilt in Eggplant; AVRDC 1993 Progress Report; AVRDC: Tainan, Taiwan, 1994; pp.96-98. Available online: <http://worldveg.tind.io/record/20396>
- Black LL., Wu DL, Wang JF, Kalb T., Abbass D., Chen JH., 2003. Grafting tomatoes for production in the host-wet season. AVRDC, International Cooperator's Guide, 6p.
- LOPES C. A, A.F.LIMA-NETO and L.S.BOITEUX, 2006. Progress in breeding potato for large spectrum bacterial wilt resistance in Brazil. In: the 4th bacterial, wilt symposium, the lakeside conference center, central Science Laboratory, York, U.K. 17th 620th, 20p
- FAOSTA, 2019.vegetable Food supply quantity. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CC>
- GRACIA-Alonso, F.J.; Bravo, S.; Casas, J.; Pérez-Conesa, D.; Jacob, K.; Periago, M.J. Changes in Antioxidant Compounds during the Shelf Life of Commercial Tomato Juices in Different Packaging Materials. J. Agric. Food Chem. 2009, 57, 6815-6822.
- Lee JM., 2003. Advances in vegetale grafting. Chronica Horticultture, vol 43, number 2, pp 13-19.
- KOFFI N'dodo Boni Clovis, Sopie Edwige-Salomé YAPO, Dognimeton SORO1, Yah Marie N'GUETTIA, Koutoua Constant AYOLIE et Atta Hortense DIALLO, 2019. Contrôle du flétrissement bactérien de la tomate par l'utilisation de l'aubergine sauvage comme porte greffe en côte d'ivoire. Rev. Ivor.Sci. Technol., 34, 178-190
- PERVEEN, R.; Suleria, H.A.R.; Anjum, F.M.; Butt, M.S.; Pasha, I.; Ahmad, S. Tomato(*Solanum Lycopersicum*) Carotenoids and Lycopenes Chemistry; Matabolism, Absorption, Nurtition, and Allied Health Claims-A Comprehensive Review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2015, 55, 919-929.
- CHESNEAU T, 2015. Le greffage de la tomate, fiche technique du projet 121 Actions d'informations et projets de démonstrations, 2P
- NGUYEN K. 2005. Etude de l'influence du greffage de la tomate et de l'aubergine sur la production et la résistance au flétrissement bactérien. Mémoire d'ingénieur : Institut national agronomique Paris-Grignon. INA-PG 42 p

Influence des contraintes agro-biotiques sur la productivité du manioc (*Manihot esculenta*): Cas des villages de Dougoukouna et Banankoroni du bassin de production de Ségou au Mali

Drissa DIALLO, Moussa KANTE*, Métaga COULIBALY, Béjamé COULIBALY, Lassina BERTHE

Université de Ségou, Faculté d’Agronomie et de Médecine Animale (FAMA)

* Courriel de Auteur correspondant : phytomouska.01@gmail.com

RÉSUMÉ : La culture du manioc au Mali, connaît des contraintes qui empêchent la filière d'être compétitive par rapport aux pays voisins. Fort de ce constat, cette étude a été initiée pour mieux cerner les contraintes agro-biotiques liées à la culture du manioc au Mali, avec un focus sur le bassin de production de Ségou.

La méthodologie utilisée était mixte avec une revue de la littérature doublée d'une enquête sur le terrain dans les deux (02) villages d'étude Dougoukouna et Banankoroni. Pour ce faire, un échantillon de 25 producteurs de manioc a servi de base de sondage. Ainsi, les données collectées ont été soumises à des analyses de statistiques descriptives, de variance à l'aide des logiciels Excel et Xstat.

En termes de résultats, pour mieux apprécier les contraintes recensées, une analyse socio-agronomique issue de nos données collectées indique que les superficies emblavées en manioc varient entre 3,0 ha (maximum) et 0,5 ha (minimum). Au sujet du nombre d'années en activité pour les producteurs enquêtés, le record est de 20 ans. En outre les producteurs de manioc enquêtés cultivent aussi pour leur grande majorité d'autres spéculations comme le riz, le petit mil qui occupent des grandes superficies, contre l'arachide, le maïs, le niébé qui sont les moins cultivés. Quant au mode d'acquisition des boutures, les résultats indiquent que 48 % des producteurs font des échanges de boutures, tandis que 52 % conduisent les boutures de leurs parcelles antérieures. Par ailleurs, il ressort de nos analyses que le rendement optimal moyen est de 4 t/ha. En ce qui concerne les contraintes agro-biotiques, on constate qu'elles sont essentiellement d'ordre parasitaire et technique avec les souris (30 % de fréquence) et les termites (24 %) qui sont majoritaires chez nos enquêtés. Aussi, les mauvaises herbes telles que *Echinocloa stagnans* (Bourgou) à 36 % et *Digitaria sp.* (Narakata en bambara) pour 26 % et des agents pathogènes, se manifestent par le virus de la mosaïque du manioc très présent (92 % de fréquence).

Les contraintes relevées doivent guider les prises de décisions des acteurs de la production de manioc pour qu'elle soit au rendez-vous de la productivité et de la durabilité.

Mots-clés : Manioc, contraintes agro-biotiques, productivité, Ségou, Mali.

I. INTRODUCTION

Le manioc est l'aliment de base de plus de 800 millions de personnes dans les zones tropicales, dont 500 millions en Afrique, et sa production est en constante augmentation à un rythme supérieur à celui des céréales [1]. Depuis 1961, la production de manioc a été multipliée par 3,5, alors que celle des racines et tubercules a été multipliée par 1,8 et celle des céréales par 3 [2]. En 2019, le Mali a produit 70 312 tonnes de manioc sur environ 5 900 hectares [3].

Par ailleurs, face aux changements globaux, notamment au réchauffement climatique, cette plante à multiplication végétative présente des caractères de résilience qui pourraient encore accroître son importance pour la sécurité alimentaire des pays tropicaux [2]. Surtout que dans certaines zones comme au Mali, pays sahélien à vocation agrosylvopastorale, ou la dure réalité d'une agriculture incertaine se fait sentir, en raison des irrégularités des pluies et de la fragilité des sols. Face à ce constat, des cultures telles que le manioc, connu pour leur grande plasticité et faible exigence agrochimique [4], sont des alternatives crédibles, gage de diversification des cultures. Cela est d'autant

plus réel que dans des régions très agricoles comme Ségou, où il existe l'un des plus grands bassins de production de manioc au Mali, cette culture en plus de son apport à la diversification des ressources alimentaires et une source non négligeable d'apport économique. Surtout que la filière manioc est de plus en plus orientée vers les transformations post-récoltes pour l'approvisionnement des industries agroalimentaires et non alimentaires, dans un contexte de croissance des échanges internationaux. En conséquence, il est crucial que tous les acteurs (producteurs, techniciens agricoles, transformateurs artisanaux et industriels, commerçants, consommateurs et décideurs) aient accès à des informations et connaissances fiables et accessibles, ainsi qu'aux perspectives d'évolution de la production de manioc (manioculture).

Au regard de ce qui précède en termes d'intérêt pour cette culture longtemps considérée comme secondaire au Mali, nonobstant ces atouts alimentaires, de résilience climatique et surtout sa curieuse disponibilité sur les marchés locaux pendant toutes les périodes de l'année ([5],[6]), des questionnements existent. En effet des contraintes

agronomiques empêchent la filière d'être compétitive par rapport aux pays voisins. Aussi, cette culture fait face à des risques sanitaires inquiétants en raison de l'émergence de nouvelles sources de bioagresseurs qui menacent sa pérennité [7]. Ce constat justifie la pertinence d'étude et de travaux de recherche pour une actualisation des données sur la manioculture au Mali.

C'est ainsi que cette étude a été initiée pour mieux cerner les contraintes agro-biotiques liées à la culture du manioc au Mali, avec un focus sur le bassin de production de Ségu. Pour cela nous avions comme objectifs spécifiques (i) déterminer les caractéristiques sociologiques des producteurs de manioc de la zone enquêtée dans la zone d'étude ; (ii) identifier les techniques de production de manioc appliquées ; (iii) déterminer la situation des bioagresseurs du manioc dans la zone d'étude.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériaux

Pour mener l'enquête sur le terrain, les équipements suivants ont été utilisés :

- Un bloc-notes et un stylo pour prendre des notes.
- Des questionnaires pour la collecte des données.
- Une moto pour les déplacements.
- Un ordinateur portable avec des logiciels de saisie (Word) et d'analyse de données (Excel).

2.2 Méthodes

La méthodologie comprend plusieurs phases : revue documentaire, collecte et exploitation des données.

2.2.1 Revue Documentaire

Cette phase consiste en une revue de la littérature sur le manioc, incluant des anciens rapports et des documents trouvés sur Internet.

2.2.2 Collecte des Données

2.2.2.1 Échantillonnage :

Vingt et cinq (25) producteurs de manioc des villages de Dougoukouna (16 producteurs) et Banankoroni (09 producteurs) ont été sélectionnés par échantillonnage non probabiliste au jugé. Le choix de cette méthode se justifie par le caractère exploratoire de l'étude et surtout de la limitation des ressources disponibles pour mener cette étude.

2.2.2.2 Enquêtes sur le Terrain :

Les 25 producteurs ont répondu à un questionnaire portant sur :

- Le profil des producteurs (caractéristiques socio-économiques).
- Les caractéristiques agronomiques (typologies des cultures, superficies, variétés, techniques culturales, équipements et intrants, assistance technique, formation).
- La situation des bioagresseurs dans leurs parcelles (types de bioagresseurs, fréquence, incidence, gravité).

2.2.3 Traitement des Données

Les données collectées ont été saisies et analysées sur Excel pour produire des statistiques descriptives

et une analyse de la variance a été effectué avec le logiciel XIStat.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

3.1.1 Caractéristiques sociologiques des producteurs de manioc de la zone enquêtée

3.1.1.1 Profil en fonction du nombre d'années en activités et de la superficie exploitée

En termes de nombre d'année en activités, il ressort que le producteur 2 a le plus grand nombre d'année soit 20 ans d'expérience et le plus faible nombre est celui du producteur 23, avec 4 ans.

Quant aux nombres d'année en activité et la superficie exploitée par les 25 producteurs enquêtés dans les villages respectifs (figure 1), nous pouvons dire que les producteurs 13, 15, 21, 24 ont les plus grandes superficies de manioc soit 3ha pour chaque producteur, par contre les faibles superficies sont enregistrées chez les producteurs 1, 3, 7, 10, 19, 20, 23 avec la même superficie pour chaque producteur 0,5ha. Le constat est donc l'occupation de petite superficie par la majorité des producteurs, d'où leur statut de petits producteurs. De même, ces résultats nous indiquent premièrement que la production du manioc est une activité classique dans la zone d'étude et secundo que la superficie exploitée et le nombre d'années en activités des producteurs de manioc enquêtés n'ont pas de rapport. En effet, on constate que certains producteurs ont de plus grande superficie étant donné qu'ils n'ont pas duré dans l'activité par contre d'autre ont un plus grand nombre d'année de pratique dans la production de manioc avec peu d'espace destinée à cette activité.

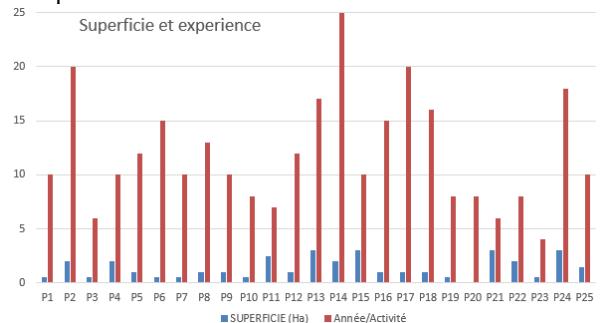


Figure 1: Superficie produite et nombre d'année de production de manioc

3.1.1.2 Profil en fonction de la tranche d'âge des producteurs de manioc

Il est à noter que la totalité des producteurs enquêtés étaient des hommes, tous mariés.

On peut constater sur la figure 2, que parmi les quatre tranches d'âge la majorité des producteurs sont ceux de l'intervalle d'âge 41-50 ans, donc des adultes. De façon plus explicite, nous constatons que ceux âgés de 50 ans et plus, sont plus nombreux dans la production que ceux de 21-31 ans et 31-40 ans. Et donc les jeunes âgés de 21-31 ans, sont minoritaires dans la production. Ces données portent à croire que généralement, les producteurs plus âgés, supposés

être des personnes les plus stables au village, c'est-à-dire n'effectuant pas ou peu d'exode rural, ayant une progéniture disponible compte tenu de leur statut matrimonial, sont plus actifs dans la production de manioc. De plus, cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les jeunes n'ont pas de terre agricole à leur nom, vu que toutes les terres agricoles familiales appartiennent au chef de famille.

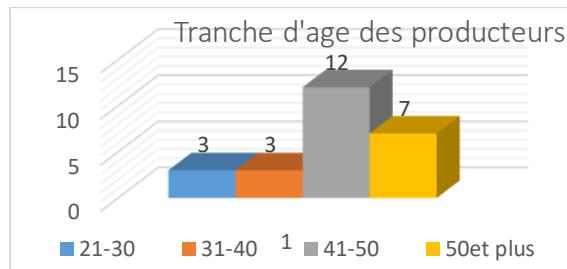


Figure 2: Tranche d'âge des producteurs

3.1.1.3 Cultures principales pratiquées

La figure 3, faisant la synthèse des données relatives à la typologie des cultures, indique que les producteurs enquêtés accordent beaucoup d'importance à la production du riz, et du petit mil par rapport aux autres spéculations. Ces résultats pourraient trouver leur justification par le fait que le riz, et le petit mil font partie des aliments de base des communautés de notre zone d'étude. Aussi que ces deux villages Banankoroni et Dougoukouna sont la zone de production de l'Office Riz Ségou, qui faut la promotion des céréales, surtout le riz.

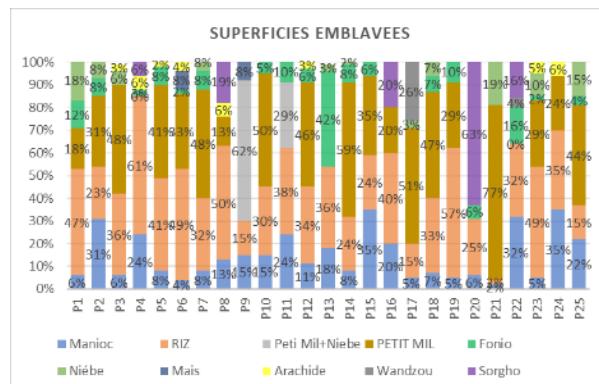


Figure 3: Cultures pratiquées chez les producteurs enquêtés

3.1.2 Recensement des variétés utilisées dans la zone d'étude :

Les données de nos enquêtes, exploitées à travers la figure 4, indiquent que 12% des producteurs du manioc utilisent la variété *Dabokan* ou *Darbouka*, et 88% utilisent la variété *Fanaka*, ce qui permet de conclure que la majorité des producteurs concernés par notre étude, sont beaucoup concentrés sur les boutures de la variété *Fanaka*. Il y a donc usage presqu'uniforme et de façon discontinue d'une même

variété chez beaucoup de producteur, toute chose qui pourraient contribuer à la dissémination de sources de maladie et surtout de vieillissement du matériel végétal.

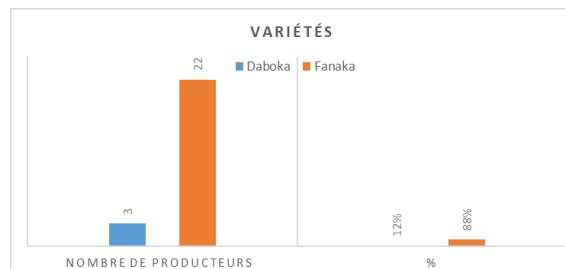


Figure 4: Variétés de Manioc cultivées par les producteurs de manioc enquête

3.1.3 Détermination des modes d'acquisition de boutures utilisées

Il ressort que 48% des producteurs du manioc font des échanges de boutures entre eux, tandis que 52% des producteurs conduisent les boutures de leurs parcelles antérieures.

On pourrait ainsi formuler l'hypothèse d'une reconduction permanente d'un même jeu de matériel végétal. D'où la vétusté et la faible diversité des variétés cultivées de manioc dans cette zone.

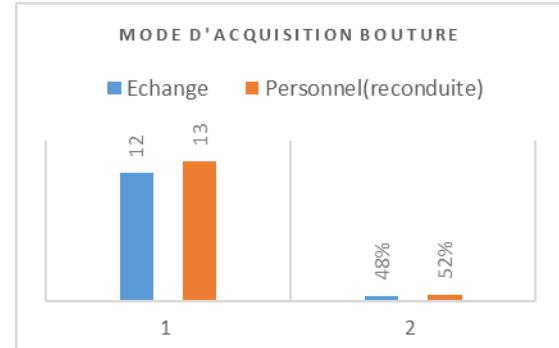


Figure 5: Modes d'acquisition des boutures issues des variétés utilisées

3.1.4-Identification des techniques agricoles utilisées par les producteurs

De façon globale, il ressort que les producteurs utilisent le même schéma d'itinéraire technique (tableau 1), constitué essentiellement de 07 opérations ou activités.

Tableau 1 : opérations appliquées par les producteurs

Ordre de succession	activités
Operation 1	Herbicidage/nettoyage
Operation 2	Labour
Operation 3	Repiquage
Operation 4	Sarclo-b-ingage
Operation 5	Clôture
Operation 6	Arrachage
Operation 7	Commercialisation

On constate, ici que la fertilisation qu'elle soit organique ou minérale, les traitements phytosanitaires (fongicides, insecticides, ...) sont absentes des habitudes des producteurs de la zone de production.

3.1.5- Evaluation des indicateurs de production de

manioc dans les zones enquêtées

3.1.5.1-Superficies et production en manioc

Il ressort de nos analyses que la superficie minimale des producteurs de manioc enquêtés est de 0,5 ha et la production minimale est de 2 tonnes. En outre la superficie maximale est de 3 ha et la production maximale est 12 tonnes. En ce qui concerne la superficie moyenne des producteurs enquêtés, elle est de 1,34 ha et la production moyenne des producteurs, elle s'évalue à 5,36 Tonnes. De manière statistique, on constate que l'écart-type des superficies des producteurs de manioc enquêtés est de 0,86 et la production est 3,45. Quant aux résultats de l'analyse de la variance simple P-Value (au seuil de 0,05), nous obtenons 0,77. Ces valeurs issues de la statistique descriptives (tableau 2) nous permettent de dire qu'aucune différence significative n'est constatée entre les données de production d'une part et d'autres part des superficies relatives à nos producteurs enquêtés.

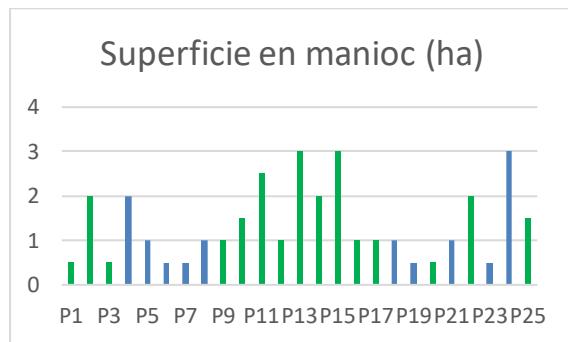


Figure 6 : Superficies emblavées en manioc

Tableau 2: Analyse statistique appliquée aux données de superficie et de production

	Sup (Ha)	Prod (T)
Min	0,5	2
Max	3	12
Moy	1,34	5,36
Ecart-type	0,86265095	3,45060381
P-value (au seuil de 0,05)	0,77536232	

3.1.5.2-Rendement calculé

Sur la base de nos enquêtes, il n'y a que deux producteurs (P19, P21) qui ont pu nous fournir une estimation de leur rendement (respectivement 2T/0,5ha et 1,7T/0,5ha). C'est ainsi que nous avons obtenu par extrapolation des superficies, les rendements calculés dans la figure ci-dessous.

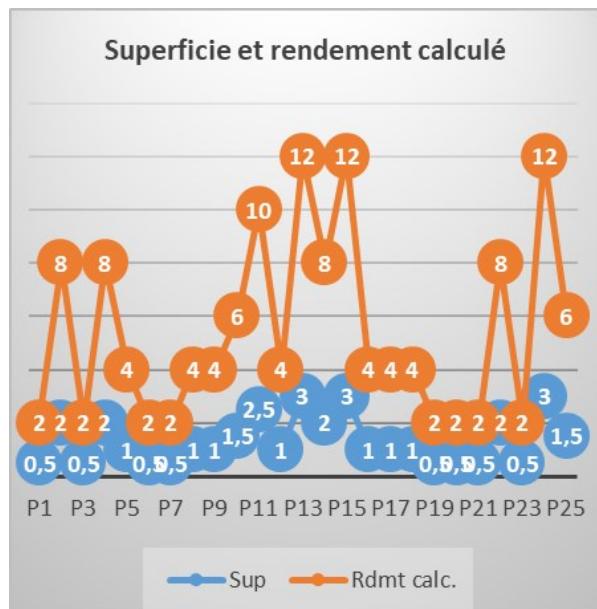


Figure 7: Rendements calculés

3.1.6-Situation des bioagresseurs du manioc dans la zone d'étude

3.1.6.1-Evaluation des indicateurs épidémiologiques des bioagresseurs

▪ Les ravageurs

Les résultats du tableau 3, sur les indicateurs épidémiologiques des ravageurs, nous montrent d'une part que les espèces souris et termes sont majoritaires avec respectivement 30%, 19% et leur niveau d'attaque est grave chez les producteurs de manioc enquêtés. D'autre part le criquet puant est l'espèce le moins présent et son niveau de dégât est moins grave, tout comme les autres espèces recensées qui sont également en moindre proportion de niveau de dégât.

Tableau 3: Indicateurs épidémiologiques des Ravageurs

Espèces	A-D	Fréq.(%)	ND/DA
Animaux en divagation	12	15	1
Rats	16	20	1
Souris	24	30	2
Singe	8	10	1
Termes	19	24	2
Criquet puant	1	1	1

A-D : Abondance-dominance ; Fréq. : Fréquence ; ND/DA : Niveau dégât (degré d'attaque) ; [0-20] = 1=Moins grave ; [21-40] = 2=grave ; [>40] = 3=Très grave

▪ Les mauvaises herbes ou adventices

On constate une diversité de mauvaise herbe présente dans les parcelles, selon nos producteurs enquêtés, comme l'indique le tableau 4.

Tableau 6: Indicateurs épidémiologiques des mauvaises herbes

Espèces	A-D	Fréq. (%)	N
Bouroukou	14	36	2
Narakata	10	26	2
Nalo	1	3	1
Foloko falaka	1	3	1
Falibin	2	5	1
Bindiougouni	5	13	1
Gazon	3	8	1
Gosso	1	3	1
Dolé	2	5	1

A-D : Abondance-dominance ; Fréq.: Fréquence; N: Nuisibilité

Parmi les espèces recensées, à travers leurs noms locaux, deux sont les plus fréquentes et nuisibles : Bouroukou et Narakata.

▪ Les maladies

La mosaïque du manioc, maladie virale, est très largement présente dans les parcelles des producteurs de manioc de notre zone d'étude plus que les autres maladies telles que la mycose caractérisée par des taches blanchâtres et le flétrissement bactérien.

Tableau 4: Indicateurs épidémiologiques des maladies

Maladies	A-D	I (%)	S
Mosaïque (<i>Fala en en bambara</i>)	25	92	2
Mycose (tache blanchâtre)	1	4	1
Flétrissement bactérien	1	4	1

A-D: Abondance-dominance; I (%) : Incidence en pourcentage; S: Sévérité (1=Moins grave 2=grave ; 3 =Très grave).

3.1.6-Problèmes techniques liés aux producteurs

A ce niveau, on des problèmes tels que les difficultés de sécurisations des plantations face aux animaux en divagation, l'usage continu des mêmes cultivars, la forte homogénéité des pratiques culturales, l'application de pratiques anciennes, le faible niveau d'équipement / mécanisation. Aussi, au nombre des problèmes organisationnels, la désorganisation des associations, des coopératives de producteurs, l'insuffisance d'encadrement de la part des services techniques, et surtout l'inexistence de femmes ou de jeunes détenteurs de parcelle de production.

3.2 Discussion

Système de production tres rustique, petits-producteurs pour une production de style familiale
Il ressort de cette étude que malgré l'objectif commercial de la production de manioc dans cette zone de production ; comme l'attestait [5], les producteurs de Banakoroni et Dougoukouna évoluent sur des bases de production agricole caractéristiques d'une agriculture extensive, familiale, de subsistance et non de rente. En effet, les données collectées démontrent que la majorité des producteurs agissent par l'occupation de petite superficie, d'où leur statut de petits producteurs. Comme l'indiquait [7], les

systèmes de production dans les différentes zones de production au Mali sont essentiellement fondés sur des pratiques rudimentaires sur de petites superficies associées à des modes de production de type familiale. Cela a été signalé ailleurs dans le monde dans beaucoup de zone ou également le manioc est produit de façon traditionnelle par opposition aux modes de cultures conventionnelles soumis aux pressions du marché [8] ?

Usage presqu'uniforme et de façon discontinue d'une même variété

Constatant que la majorité des producteurs concernés par notre étude, utilisent une même bouture, celle de variété cultivée (cultivar) *Fanaka*. Cette situation est liée corrobore avec le fait que la production du manioc est une activité classique. Ce même constat est également signalé dans des travaux antérieurs, mentionnant que parmi les variétés cultivées de manioc, une très forte proportion sont des variétés implantées depuis très longtemps au point qu'elles sont assimilées à des variétés locales (qui connaît l'histoire du manioc, on sait qu'elle est une culture implantée en Afrique autour des années 1550 [9] et propagé vers l'intérieur du continent au XIX e siècle [10]).

Par ailleurs une étude menée auprès de certains producteurs de manioc de la côte caraïbe colombienne, a permis de constater qu'une seule variété, appelée "Vénézuélienne" représente le quart des variétés semées [11, d'où l'existence de cas de dominance d'une même variété dans certaines zones de production.

Quid des contraintes agro-biotiques sur la productivité du manioc

Les données de notre étude montrent que les bioagresseurs sont actifs dans les parcelles des producteurs enquêtés. Ceci dit, comme l'indiquait Kanté [7], on peut noter que les producteurs majoritairement méconnaissent la nature des problèmes phytoparasitaires, qui par moment impactent très négativement leur production de manioc. Selon le même auteur, parmi les rares cas qu'ils connaissaient, la virose (CMD) appelée localement "Fala", qui est la maladie la plus fréquente, et surtout certains insectes nuisibles comme les termites, les cochenilles.

Par ailleurs, notre type de réseaux de circulation de bouture dit « informel » selon Delaquis et al. [12], est très susceptible pour la propagation de de germe de bioagresseurs.

IV. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déceler que les producteurs sont confrontés à des difficultés de renouvellement du matériel végétal trop vétuste et de l'inaccessibilité à des technique de production adéquates à leur environnement pour faire une bonne production du manioc. En plus de ces facteurs,

les contraintes agro-biotiques ont un impact significatif sur la diminution des rendements des producteurs de manioc des villages de Dougoukouna et de Banankoroni. Parmi ces bioagresseurs nous avions identifiés certains, tels que les ravageurs (souris et termites) qui sont majoritaires dans la zone de production du manioc. Aussi l'agent pathogène (Mosaïque) est pratiquement présent chez tous les producteurs du manioc enquêtés, surtout que la mosaïque cause également d'énormes soucis. Ces éléments qui font partie des causes de la faible productivité de manioc chez les producteurs enquêtés méritent d'être mieux étudiés pour apporter des solutions durables pour une production pérenne de manioc au Mali.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit des producteurs de la zone d'étude (villages de Dougoukouna et Banankoroni), ayant accepté de fournir les informations précieuses, lors de la phase d'enquête.

REFERENCES

- [1] VERNIER, P., N'ZUE, B., & ZAKHIA-ROZIS, N. Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle (Éditions Q; Agricultures tropicales en poche, Ed.). Retrieved from <https://www.quaeopen.com/produit/87/9782759227099/le-manioc-entre-culture-alimentaire-et-filiere-agro-industrielle.2018>.
- [2] FAOstat. Données de productions agricoles. Retrieved June 12, 2020, from Culture website: <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize.2020>.
- [3] FAO. Nouvelles résolutions de l'ONU sur la santé des végétaux, la sécurité alimentaire et les légumineuses. Nouvelles Résolutions de l'ONU Sur La Santé Des Végétaux, La Sécurité Alimentaire et Les Légumineuses. Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/fr/item/1175488/icode.2019>.
- [4] FAO. Champs-écoles paysans sur le manioc : Ressources à l'intention des facilitateurs d'Afrique sub-saharienne (FAO ; FAO, Ed.). Retrieved from <http://www.fao.org>. 2014
- [5] DIARRA T. (2017). Analyse de filière de production de manioc dans région de Ségou au Mali. Rapport de stage de la Licence en Agroéconomie, FAMA, Université de Ségou, Octobre 2017, Ségou, Mali, 48 p.
- [6] KANTE M., DAGNO K., KOITA O., SZUREK B . Le manioc au Mali : d'une source de résilience au changement climatique à une finalité de vulnérabilité à la bactériose vasculaire du manioc. *Acte de conférence MSAS 2022*, Volume 1, ISSN 1987-149X. 8p. 2022.
- [7]. KANTE, M. (2020). Diversité des populations de Xanthomonas phaseoli pv. manihotis au Mali et recherche de sources de résistance durables chez le manioc . Thèse de doctorat, Doctoral dissertation, Université Montpellier ; Université de Bamako. Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée.Site.«<https://dataverse.ifdc.org/file.xhtml?persiste ntId=hdl:20.500.13038/FK2/PM9JIK/DII5Y&version=1.0>» nd. Fiche-technique-4-itineraire-technique-du-manioc-cassava-technical-itinerary.pdf.
- [8] McKey, D., Elias, M., Pujol, M., & Duputie, A. The evolutionary ecology of clonally propagated domesticated plants. *New Phytol.*, 186(2), 318–332. Retrieved from <http://doi.org/10.1111/nj.1469-8137.2010.03210.x>. 2010.
- [9] Guthrie, J. Contrôler la mosaïque du manioc, Centre technique de coopération agricole et rurale (1st ed.; CTA, Ed.). CTA. 1990.
- [10] Coppens d'Eeckenbrugge, G., Schiavo, M., Caron, E., Ongwen, D., Ireri Kamau, J., Rono, B., & Leclerc, C. Worldwide interconnections of Africa using crops as historical and cultural markers. *Les Cahiers d'Afrique de l'Est/The East African Review*, 52(2019), 7-41. Retrieved from <https://journals.openedition.org/eastafrica/456>, 2019.
- [11] Alzate, A., Vallejo, F., Ceballos, H., Perez, J., & Fregene, M. (2010). Variabilité génétique du manioc cultivé par de petites les agriculteurs de la région des caraïbes en colombie. *Loi Agron.*, 59(4), 385–393, 2010.
- [12] Delaquis, E., Andersen, K., Minato, N., Le Cu, T., Karssenberg, M., Sok, S., & Al., E. Raising the Stakes: Cassava Seed Networks at Multiple Scales in Cambodia and Vietnam. *Front Sustain Food Syst.*, 2, 73. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00073>, 2018

Systèmes Agropastoraux à l'Epreuve en Afrique de l'Ouest

Yenizie KONE^{1*}, Bourema KONE¹

¹Institut d'Économie Rurale, Bamako

*yenizekone@gmail.com

RÉSUMÉ : Les systèmes agropastoraux d'Afrique de l'Ouest sont de plus en plus menacés à cause des chocs récurrents et complexes liés aux effets des changements climatiques, aux conflits sociaux et l'insécurité, réduisant leur capacité à répondre durablement aux besoins de consommation des populations en forte croissance. Le présent article analyse la durabilité des systèmes agropastoraux en se basant sur un cadre conceptuel d'analyse des systèmes alimentaires pour identifier les facteurs mettant en péril les systèmes agropastoraux dans les pays d'Afrique de l'Ouest tout en apportant des preuves concrètes de leurs impacts sur le bien-être des populations. Les dernières parties du document sont consacrées aux implications et compromis à mettre en place pour assurer la durabilité des systèmes agropastoraux en Afrique de l'Ouest.

Mots-clés : *systèmes agropastoraux, changements climatiques, systèmes alimentaires, durabilité, Afrique de l'Ouest, insécurité*

INTRODUCTION

Les systèmes agropastoraux sont des systèmes de production mixtes agriculture-élevage (*mixed farming systems or mixed crop-livestock farming systems*) associant différents types de combinaisons de production animales et végétales[1]. Ils produisent la plus grande part de la viande (54%) et du lait (90%) au niveau mondial (FAO, citée par[1]). Dans les systèmes agropastoraux, les produits de l'élevage (viande et lait) sont d'importantes sources de protéines animales dans les régimes alimentaires urbains et ruraux. Tandis que ceux provenant de l'agriculture est source de protéines végétales nécessaire pour une alimentation équilibrée.

En Afrique de l'ouest les systèmes pastoraux et agropastoraux, fournissent près de 99% des 6 millions de tonnes de viande rouge consommées dans la sous-région [2]. Toutefois les importations connaissent une forte progression à cause de la croissance démographique. En 2016, le montant des importations de lait a atteint 470 milliards de Francs CFA[3]. Malgré leur importance dans le système alimentaires, force est de constater que les systèmes agropastoraux sont de plus en plus menacés par trois facteurs importants notamment les changements climatiques, l'extension des terres agricoles et l'insécurité. Dans ce contexte, quel compromis faut-il mettre en place pour assurer la durabilité des systèmes agropastoraux ?

METHODOLOGIE

L'article se base sur les résultats du cadre conceptuel de l'analyse des systèmes alimentaires et la revue de la littérature pour identifier les facteurs qui influencent les systèmes agropastoraux en Afrique de l'Ouest. Le cadre conceptuel se base sur

des facteurs biotiques et abiotiques affectant les acteurs et les activités de la chaîne alimentaire ainsi que leurs impacts sur les différentes dimensions de la durabilité en trois étapes. Il s'agit de l'analyse des facteurs biotiques et abiotiques influençant la production et la consommation, les acteurs de la chaîne de valeur et leurs impacts sur les différentes dimensions des systèmes alimentaires (environnement, équilibre territorial, pauvreté, sécurité alimentaire et sanitaire). En Afrique de l'Ouest, l'environnement des systèmes agropastoraux est influencé par les facteurs climatiques, l'extension des terres, la croissance démographique, l'augmentation des conflits et l'insécurité. Ces facteurs contribuent à l'augmentation de la migration des agropasteurs, la perte de la biodiversité, et l'augmentation de la pauvreté.

RESULTATS

Les fragilités constatées dans les systèmes agropastoraux en Afrique de l'Ouest

Les fragilités causées par les changements climatiques

Les changements climatiques affectent les systèmes agropastoraux sur ses deux composantes agriculture et élevage. Ils affectent à la fois la fonction la production agricole à travers la production végétale et la production animale à travers l'élevage des animaux. Les zones agropastorales de l'Afrique de l'Ouest et du Sahel se trouvent dans des régions où les précipitations sont moins abondantes et où les conditions météorologiques sont extrêmement variables, ce que le changement climatique ne fait qu'accentuer. Depuis les inondations subsahariennes des années 70 et 80 du XXème siècle, les anomalies

en matière de précipitations en Afrique de l'Ouest attirent l'attention du monde entier.

Le changement climatique prévu qui laisse présager un alourdissement de l'impact sur l'environnement et la civilisation[4].

L'impact du changement climatique sur la productivité agricole a été mis en évidence dans la littérature scientifique. La figure montre la réponse des rendements du sorgho au changement climatique simulée par deux modèles agronomiques SARRA-H et APSIM[5].

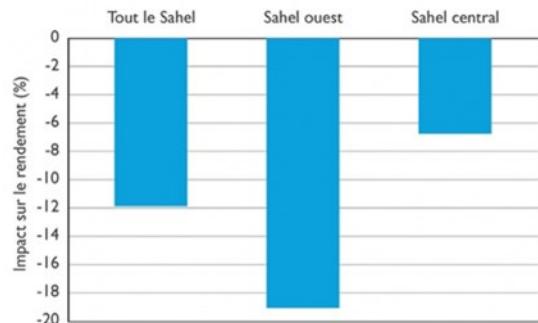


Figure 1: Réponse simulée du rendement du sorgho au changement climatique, Source: d'après Sultan et al. (2014)¹.

Dans le domaine de la production animale, les années de déficit très marqué (1973, 1983 et 1984) correspondent à des sécheresses de grande ampleur qui ont eu des conséquences parfois dramatiques sur les hommes et leurs troupeaux. Durant cette longue période de sécheresse, les agropasteurs sahéliens ont été contraints de repousser toujours davantage les limites des pâturages de saison sèche vers le sud par la transhumance pour pouvoir faire leurs activités [6].

Les fragilités causées par l'extension de l'usage des terres

Dans les pays de l'Afrique de l'Ouest, l'extension des cultures de rente est portée en grande partie par les marchés extérieurs. Parmi les principales cultures de rente de la région, on note le café, cacao, le coton, etc.

Au Mali, l'extension de la culture du coton explique en partie les récentes évolutions constatées dans le plus grand bassin cotonnier de Koutiala. L'extension du coton a été encouragé par les incitations sur les marchés mondiaux qui poussent les producteurs à privilégier l'installation du coton au détriment des cultures vivrières en raison des rentrées monétaires. Pour obliger les producteurs à installer les cultures vivrières, la Compagnie Malienne de

Développement des Textiles (CMDT) a dû conseiller aux paysans de respecter un assolement dans des proportions 2/3 de superficie de cultures vivrières contre 1/3 de coton pour limiter les extensions. A cause des extensions des superficies du coton, la terre est devenue rare pour les agropasteurs.

Au Nigeria, les routes de pâturage sont transformées en villes commerciales où les gens résident maintenant [7]. Même les pistes de transhumance, en principe réservées à l'élevage, sont parfois restreintes, voire barrées, par des champs.

Au Burkina Faso, 12 des 13 des régions du pays sont propices aux ressources aurifères et le nombre de sites d'exploitation artisanale de l'or est compris entre 700 et 1000 sites[8]. L'activité mobilise de plus en plus de paysans tout en accentuant une forte pression sur les terres agricoles. Elle conduit à la diminution des terres agricoles en termes de superficie et de la qualité des sols.

Les fragilités causées par l'augmentation des conflits et l'insécurité

Aujourd'hui, la multiplication des conflits et l'insécurité constituent une des menaces majeures pour les systèmes agropastoraux en Afrique de l'Ouest. En effet, depuis une dizaine d'années les pays du Sahel sont confrontés à une crise multidimensionnelle notamment, politique, sécuritaire et institutionnelle ayant nécessité l'intervention de forces étrangères sous mandat des Nations Unies afin de lutter contre les groupes terroristes. Par conséquent, les systèmes agropastoraux de la région évoluent dans un « puzzle de conflits » où plusieurs conflits de différentes natures et de sources diverses se superposent. On distingue au minima cinq sources d'insécurité et de conflits qui se superposent dans les zones agropastorales d'Afrique de l'Ouest. Il s'agit notamment de l'insécurité politique, l'insécurité institutionnelle, les conflits entre agriculteurs et éleveurs, le conflits religieux et territoriaux, etc.

Elle se traduit par de nombreuses manifestations dans les rues qui ont finalement abouti au renversement de différents régimes politiques engendrant des coups d'États militaires au Mali, au Burkina, au Niger et au Tchad entre 2020 et 2023. Ces bouleversements de régimes politiques ont davantage affaibli les états exacerbant la violence dans la région. Dans ce contexte, les zones agropastorales sont devenues de plus en plus des espaces de violences extrêmes et de non droit. Les agropasteurs sont parmi les couches les plus exposés à cause des animaux

¹ Changement relatif (%) de rendement moyen du sorgho entre les périodes 2031-2060 et 1961-1990 sous le scénario rep8.5.

Les résultats sont montrés en moyenne pour 9 GCM, deux modèles de cultures et trois variétés de sorgho.

Les réponses sont calculées sur 13 stations réparties au Sahel (gauche), pour 6 stations à l'ouest du Sahel (milieu) et pour 6 stations au centre du Sahel (droite)

qu'ils possèdent mais aussi des récoltes. Ainsi, les agropasteurs subissent de plein fouet les effets pervers de ces crises sécuritaires. En effet, la majeure partie des activités agricoles et agropastorales sont sous menaces, car les terroristes empêchent les agropasteurs à vaquer librement à leurs occupations. Ils sont pris dans un piège, car ils ne peuvent pas se déplacer sur de longue distance pour faire paître les animaux ni pour effectuer des travaux champêtres.

L'impact des fragilités constatées sur les systèmes agropastoraux en Afrique de l'Ouest

A. L'augmentation de la migration des agropasteurs

Les changements majeurs dans les systèmes pastoraux sont intervenus à partir des années 70-80 qui ont été poussés d'abord par les grandes sécheresses qui ont décimé les cheptels et ensuite par l'afflux d'agriculteurs migrants sur des territoires à vocation pastorale [9]. Ces mutations ont entraîné les migrations ou l'allongement des circuits de transhumance au sud de ces régions jadis plus humides et exemptes d'élevage (fig.2). Elles ont alors amorcé la sédentarisation des communautés d'éleveurs qui s'est accentuée à proximité des villages d'agriculteurs.

Les difficultés de cohabitation entre les systèmes d'élevage et d'agriculture sont progressivement apparues dans les années 1980, avec le constat de la « fin des grands espaces agropastoraux »[9]. Les mêmes auteurs constatent que dans les terroirs du Mali, la saturation foncière a poussé au départ, dès 1980, des éleveurs peuls installés entre 1940 et 1975. Dans le même ordre d'idée, la forte immigration dès 1980 des Mossis au Burkina Faso s'inverse en 2005 comme celle des Sarakolé et Minianka au Mali intervenue dès 1970 sur les terroirs plus anciens [10].

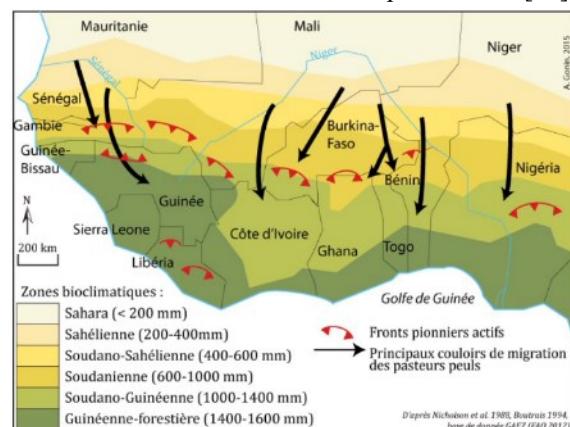


Figure 2: Migrations pastorales et fronts pionniers agricoles, Source : Alexis Gonin, 2015

La perte de la biodiversité

La surexploitation des terres est considérée comme la principale cause de la dégradation du couvert végétal et de la perte en biodiversité en Afrique de l'Ouest (Sawadogo et al., 2005; Ozer et al 2007; Bouko et al., 2007 ; Diallo et al., 2011) cités par [11]. De nombreux travaux ont montré la perte de la biodiversité sous différentes intensités de pâturage[12] cités par [13]. Les auteurs constatent que le pâturage intensif entraîne la disparition des graminées pérennes, une réduction de la diversité des espèces et une diminution des nutriments du sol avec l'augmentation de la profondeur du sol"(Fig3).

Dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest comme au Burkina Faso, l'élevage extensif, le défrichement agricole, l'orpailage et les mauvaises pratiques agricoles et de récolte des produits forestiers non ligneux sont parmi les causes majeures de la biodiversité entraînant la disparition de certaines espèces animales et végétales². Or, la durabilité des systèmes pastoraux et agropastoraux devrait viser la conservation des terres, des ressources génétiques végétales et animales, d'une manière non dégradante pour l'environnement[14, 15].

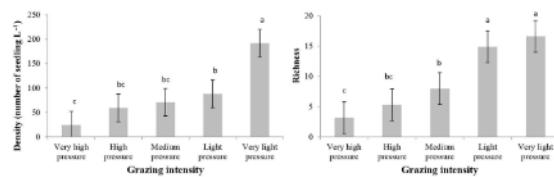


Figure 3: Effets de l'intensité du pâturage sur la densité et la richesse de la banque de semences du sol, source: Sanou et al., 2018

Estimation en % de population par classe de moyen d'existence

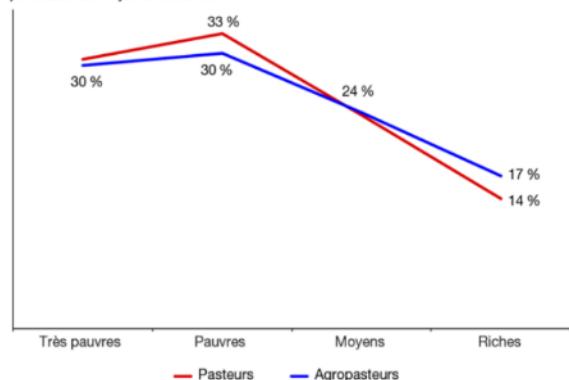


Figure 4: Estimation de la pauvreté dans les zones pastorales et agro-pastorales au Sahel (en % de population par classes de moyen d'existence) Source : Didier Richard, 2019

² <https://www.fao.org/support-to-investment/our-work/projects/fsa2021/en/>

Les agropasteurs sont de plus en plus conscients de la dégradation de la biodiversité de leurs espaces pastoraux. Par exemple au Mali, 65% des agropasteurs enquêtés affirment que la biodiversité actuelle est très dégradée, et avec la disparition de certaines espèces végétales par 59% des répondants[16]. Les principales espèces en voie de disparition sont entre autres en langue locale Bambara et scientifique (entre parenthèse) : Balanza (*Faidherbia albida*), N'toro (*Laggera alata*), Doubalén (*Canarium schweinfurthii*), N'djoun (*Mitragyna inermis*), Bànà, N'gaba (*Gamma-aminobutyric acid*), Néré (*Parkia biglobosa*), Bôjiri, N'galajiri, Boina, Saboye, Dani, Guele, Sama-nère (*Entada Africana*), Ntongue (*Ximenia americana*), Sindia, Koronifi (*Vitex doniana*), Zamba, Sounou (*Annona senegalensis*), N'gueni (*Cyperus rotundus*), etc.

La tendance à la dégradation des ressources et de la biodiversité chemine dans le sens des travaux réalisés sur l'état de la biodiversité (mammifères, oiseaux et plantes) dans 16 pays de l'Afrique de l'Ouest[17].

L'augmentation de la pauvreté

Les agropasteurs sont confrontés à une pauvreté monétaire qui entraîne également le départ des populations à l'exode pour la recherche d'un mieux-être. L'état de pauvreté relative des populations est un des facteurs structurant en Afrique de l'Ouest. Le PIB par habitant est de l'ordre de 1 000 US\$ pour l'ensemble de la zone hors Nigéria [18]. La situation d'ensemble des agropasteurs n'échappe pas à cette donne. Leurs conditions de vie ne cessent de se détériorer en raison de la réduction des espaces pastoraux et agropastoraux et l'insécurité alimentaire. Une étude réalisée sur l'économie des ménages au Sahel permet de conforter ce constat (Fig.4). Le graphique illustre le statut de pauvreté pour différents groupes de pasteurs et d'agropasteurs.

L'analyse du graphique montre que la majorité des populations pastorales et agropastorales sont considérées comme étant pauvres (60 %) (Holt et Lawrence, 2014). Dans les zones agropastorales, 19 à 45 % des populations sont estimées « très pauvres ». En Mauritanie, les acteurs sont en majorité « très pauvres » ; 25 à 39 % « pauvres », au Burkina Faso et Sénégal ; 18 à 26 % avec des « revenus intermédiaires » ; 12 à 20 % « riches », comme au Niger (de Haan et al., 2015).

Ces estimations révèlent qu'il y aurait un plus grand nombre de pauvres dans les grands pays d'élevage pastoral (Mauritanie, Niger) que dans les pays d'élevage agropastoral (tels que Mali, Tchad),

et encore moins de pauvres dans les pays plus diversifiés comme le Sénégal et le Burkina Faso.

Au Niger par exemple, la pauvreté monétaire (45,23% des ménages) est considérée comme la contrainte la plus importante pour les agropasteurs [19]. En effet, les populations dépendent de l'élevage, de l'agriculture itinérante et de la cueillette des ressources naturelles dans les espaces agropastoraux pour leur survie. Lorsque ces espaces sont réduits en raison de la dégradation des terres, de la conversion des terres à d'autres utilisations ou de la pression démographique, les communautés perdent leurs moyens de subsistance traditionnels.

Les implications pour la durabilité des systèmes agropastoraux

Les changements climatiques, socioéconomiques, environnementaux et sécuritaires font peser des menaces réelles sur les systèmes agropastoraux. Ces menaces ont pour nom l'insécurité, la baisse de la productivité agricole et animale suite à la réduction des espaces pastoraux et agropastoraux, la dégradation de la forêt, des sols, la perte de la biodiversité avec des incidences sur la santé humaine et animale. Elles ont des implications importantes sur l'avenir des systèmes agropastoraux. Face à ces menaces émergent des questions clés de durabilité. Il s'agit entre autres :

- Quelles stratégies mettre en œuvre pour lutter contre l'insécurité en vue de créer un environnement propice aux agropasteurs ?
- dynamiques en matière de production agropastorale ?
- Quelles pratiques innovantes de systèmes agropastoraux à promouvoir au sein des exploitations agricoles ?
- Quelle politique d'aménagement du territoire mettre en œuvre pour intégrer les nouvelles

Ces questionnements renvoient à un changement de paradigme pour repenser la place des animaux et de l'agriculture dans les systèmes agropastoraux tout en créant les conditions favorables à leur durabilité.

A. La prise en compte des animaux dans l'assoulement des terres agricoles

Traditionnellement, l'exploitant conçoit l'assoulement de ses parcelles sur la base de la répartition des cultures (céréales, cultures de rentes, légumineuses, etc.) pratiquées au cours de l'année. Bien que le bétail joue un rôle prépondérant dans la mise en valeur des terres agricoles en apportant du fumier et de la traction animale, viande, lait, revenus monétaires, etc., aucune parcelle n'est réservée pour produire une quantité suffisante de fourrage permettant de nourrir correctement les animaux durant les périodes de saison sèche. Aujourd'hui,

avec la rareté des terres et des parcours agropastoraux, il devient urgent de repenser les systèmes agropastoraux pour investir dans la promotion de systèmes agropastoraux plus productifs nécessitant moins d'espace et respectueux de l'environnement.

A cet égard, l'agroécologie constitue une des pistes majeures de réflexion. Dans cette perspective, l'agropasteur pourrait résérer dans son assolement une partie du champ consacrée uniquement à la production de fourrage destiné à l'alimentation des animaux en appui aux résidus de récolte. Le fait de consacrer une partie des terres aux cultures peut améliorer la productivité agricole et animale, ce qui peut garantir les revenus et la sécurité alimentaire.

La maîtrise de l'intensification des exploitations agropastorales.

Face à la rareté des terres, les agropasteurs n'ont d'autres choix que d'adopter des pratiques agricoles intensives. Pour cela, ils utilisent de plus en plus d'engrais et d'herbicides sur les parcelles. Mais, ils ont besoin d'un accompagnement pour maîtriser cette intensification. En effet, depuis une dizaine d'années, on constate un usage important des herbicides sur les exploitations agropastorales dans le but de compenser la perte de main occasionnée par le départ des jeunes à l'exode. Ces herbicides sont utilisés pour éliminer les mauvaises herbes [20] sans beaucoup de précaution avec des risques importants pour les utilisateurs.

En outre une part importante des herbicides vendus sur les marchés ouest africains sont contrefaits, ce qui expose les utilisateurs et leurs animaux à des risques sanitaires graves. Selon de nombreux producteurs du vieux bassin cotonnier de Koutiala au Mali, des pertes d'animaux liées aux mauvais usages des herbicides sont enregistrés. Par conséquent, il devient nécessaire de renforcer la réglementation concernant l'utilisation des herbicides afin minimiser les risques sur la santé humaine et animale.

De nouvelles stratégies et règles de mobilité du bétail

Les acteurs des systèmes agropastoraux, font face à une insécurité grandissante, la réduction des espaces pastoraux et à l'empietement des couloirs de transhumance les obligeant à repenser de nouvelles stratégies de mobilité des animaux. A cet égard, ils tentent des transhumances de plus en plus longues et de plus en plus profondes vers les zones agropastorales côtières. Le retour du bétail devient de plus de plus difficile dans les zones de provenance.

Par conséquent, les animaux séjournent désormais plus longtemps dans les pays côtiers où ils sont de plus en plus concentrés, ce qui bouleverse les systèmes de production traditionnels. En outre, les

agropasteurs développent des stratégies pour pâturent leurs champs déjà récoltés ou ceux des tiers ayant donné l'accord, en attendant l'ouverture de la vaine pâture qui est bien réglementée en Afrique de l'Ouest[10]. Il devient alors nécessaire de faire une revue des règles existantes afin de les adapter au nouveau contexte des systèmes agropastoraux en vue d'assurer la durabilité.

La prise en compte de la vocation des terres dans les politiques d'aménagement du territoire

Des investigations réalisées dans le cadre de ce travail, il ressort que la vocation des terres ne sécurise pas les espaces agropastoraux. En effet, on constate une occupation anarchique des terres, ce qui se traduit par des extensions à un rythme insoutenable. De sorte que la terre, qui constitue la principale ressource indispensable des activités agropastorales est de plus en plus rare à cause d'une forte compétition entre les activités agricoles et socio-économiques (production végétale, animale, minières et d'élargissement des centres urbains, etc.). D'où la nécessité de repenser les politiques d'aménagement du territoire en distinguant les principales utilisations de la terre (agriculture, agropastoralisme et pastoralisme, orpaillage, etc.).

Dans les zones agropastorales dédiées, la politique d'aménagement du territoire devrait intégrer la double dimension de l'agropastoralisme, notamment la disponibilité de terre pour l'agriculture, mais aussi des espaces pastoraux pour la mobilité des animaux.

IV. CONCLUSION

L'article a analysé les menaces qui fragilisent les systèmes agropastoraux dans les pays d'Afrique de l'Ouest tout en apportant des preuves concrètes de leurs impacts sur le bien-être des populations. Il propose des pistes concrètes de réflexion visant à atténuer l'impact des fragilités identifiées. Les dernières parties du document sont consacrées aux pistes de solutions pour assurer la durabilité des systèmes agropastoraux en Afrique de l'Ouest.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements aux professionnels de l'agropastoralisme et à tous les collègues chercheurs qui ont bien voulu apporter leur contribution et réflexion aux questions portant sur le devenir de l'agropastoralisme en Afrique de l'Ouest.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. Richard, V. Alary, C. Corniaux, G. Duteurtre, and P. Lhoste, *Dynamique des élevages pastoraux et agropastoraux en Afrique intertropicale*. éditions Quae, 2019.

- [2] FAOSTAT, "web site of the database : <http://www.fao.org>," 2020.
- [3] C. CORNIAUX and G. DUTEURTRE, "Etude relative à la formulation d'un programme régional de promotion des chaînes de valeur lait local au sein de la CEDEAO, de la Mauritanie et du Tchad," 2018.
- [4] C. W. Team, R. Pachauri, and A. Reisinger, "Climate change 2007: synthesis report," *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ipcc, Geneva, Switzerland*, 2007.
- [5] B. Sultan *et al.*, "Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa.," *Environ. Res. Lett.*, 9 (10) : 1-13., 2014, doi: 10.1088/1748-9326/9/10/104006.
- [6] P. HIERNAUX, M. DIAWARA, and F. GANGNERON, "Quelle accessibilité aux ressources pastorales du Sahel ? L'élevage face aux variations climatiques et aux évolutions des sociétés sahéliennes Afrique contemporaine, no 249, p. 21-35," 2014.
- [7] T. F. Abiodun, A. J. Oluwasegun, and A. F. Adebola, "Environmental Problems, Insecurity in the Sahel Region and Implications for Global Security," *Ibadan Journal of Peace and Development*, vol. 10, no. 1, pp. 165-180, 2020.
- [8] A. MEDINILLA , P. KARKARE, and T. ZONGO "Encadrer à nouveau l'artisanat minier au Burkina Faso : Vers une approche contextualisée. Document de Réflexion, n° 270, pp 1-24.," 2020.
- [9] K. M. Moore, D. Kaboré, B. Gnoumou, and M. Bertelsen, "Conflit et gestion des ressources naturelles dans les systèmes agraires et pastoraux des régions Arides et semi-arides de l'Afrique de l'ouest," 1999.
- [10] A. L. Dongmo, P. Djamen, E. Vall, K. Mian Oudanang, D. Coulibaly, and J. Lossouarn, "L'espace est fini! Vive la sédentarisation? Innovations et développement durable en question chez les pasteurs des zones cotonnières d'Afrique de l'Ouest et du Centre," 2007: Institut de l'élevage.
- [11] N. T. Issiaka, O. Arouna, and I. T. Imorou, "Cartographie de la dynamique spatio-temporelle des parcours Naturels des troupeaux transhumants dans les Communes de Banikoara et de Karimama au Bénin (Afrique de l'ouest)," *European Scientific Journal*, vol. 12, no. 32, pp. 251-268, 2016.
- [12] L. Sanou, D. Zida, P. Savadogo, and A. Thiombiano, "Comparison of aboveground vegetation and soil seed bank composition at sites of different grazing intensity around a savanna-woodland watering point in West Africa," *Journal of plant research*, vol. 131, pp. 773-788, 2018.
- [13] H. El Bilali, L. Dambo, J. Nanema, I. H. N. Bassole, and G. Calabrese, "Biodiversity-pastoralism nexus in West Africa," *AIMS Agriculture and Food*, vol. 7, no. 1, pp. 73-95, 2022.
- [14] J. de Wit, J. K. Oldenbroek, H. van Keulen, and D. Zwart, "Criteria for sustainable livestock production: a proposal for implementation. Agriculture, Ecosystems & Environment 53, 219-229.," 1995.
- [15] FAO, "Sustainable Development and Environment: FAO Policies and Actions. Stockholm 1972–Rio 1992. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.," 1992.
- [16] A. Tapily, A. Olufayo, A. Rudiger, and M. Diarra, "Perceptions and Adaptation Practices of Agropastoralists to Rainfall and Temperature Changes in Mali," *International Journal of Environment and Climate Change*, vol. 13, no. 10, pp. 2610-2635, 2023.
- [17] B. Sinsin, D. Kampmann, A. Thiombiano, and S. Konaté, "Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest," *Tome I: Benin. Cotonou & Frankfurt/Main*, 2010.
- [18] V. Alary and D. Gautier, "Évaluer la contribution de l'élevage au développement des régions sèches : indicateurs en vue de politiques publiques adaptées," 2023.
- [19] I. MAMAN, "Information agropastorale et résilience des agropasteurs de la région de Tahoua au Niger," *Afrique SCIENCE*, vol. 20, no. 5, pp. 13-22, 2022.
- [20] FAO, "Mixed crop-livestock farming," 2001. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/Y0501E/y0501e00.htm#toc>

Impacts de la rizipisciculture sur la productivité agricole et la fertilité des sols de rizières au Mali : cas à l'Office du Périmètre Irrigué de Baguinéda (OPIB)

Tiéma NIARE¹, Dommo TIMBELY², Hamidou KODIO^{2*}, H. KONARE²

¹ IPR/IFRA de Katibougou, Koulikoro, Mali.

²* Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali

Email de l'auteur correspondant : hkodio122@gmail.com;

RESUME DETAILLE

L'agriculture est l'un des secteurs clé de l'économie des pays en développement en général et du Mali en particulier. Elle est surtout caractérisée par de faibles rendements des cultures vivrières. Au centre des stratégies de développement agricole, la productivité agricole a toujours retenu l'attention à cause de son impact sur le développement économique et social. La croissance de la productivité agricole est essentielle non seulement pour le développement du secteur agricole, mais aussi pour l'ensemble des secteurs de l'économie, surtout pour un pays comme le Mali, où l'agriculture (y compris les productions agricole, animale et pêche continentale) emploie entre 60 et 80% de la population active et contribue pour 30 à 35% à cette croissance économique [1]; [2].

La rizipisciculture, un système de production combinée de culture du riz et d'élevage de poissons, s'installe progressivement au Mali depuis 2006. Basée sur une utilisation des sous-produits agricoles disponibles localement comme nourriture des poissons, ceux-ci assurent une diminution des mauvaises herbes, et une meilleure oxygénation du sol [3]. Ainsi, la riziére devient un écosystème complexe régi à la fois par la photosynthèse (phytoplancton) et par une activité microbienne de dégradation de la matière organique, essentiellement à l'interface eau-sédiment.

L'accroissement de la productivité agricole reste le défi majeur des pays en développement comme le Mali. C'est pourquoi l'objectif de cette recherche est d'évaluer l'impact des activités rizipiscicoles sur la productivité agricole (riz et poissons) et son corollaire sur la fertilité des sols des rizières empoissonnées.

Seize champs ont été utilisés dont douze aménagés pour la rizipisciculture et quatre champs de monoculture du riz comme témoin. ADNY-11, BG 90-2 et Seberang MR 77 ont été les variétés de riz cultivées dans les rizières. Deux espèces de poissons ont été élevées en co-culture à la densité de 1 poisson par m² : *Oreochromis niloticus* (1/3) et *Clarias anguillaris* (2/3).

Tous les paysans réalisent une pépinière avant de repiquer les plants de riz. Cette pépinière a une durée d'un mois qui est respectée par tous les exploitants. Par contre, leur date d'implantation dans les rizières ne fait pas toujours l'unanimité [4]. Les plants de riz ont été repiqués suivant les écarts de 0.75 cm sur la ligne et 0.80 cm entre les lignes. Toutes les rizières ont reçu des apports de DiAmmonium Phosphate (DAP 18-46-0) et d'urée à 46% d'azote 18 jours après le repiquage et à l'initiation paniculaire (52 jours après le repiquage) des plants. La dose moyenne de DAP est de 159.00±26.57 kg/ha et en urée elle est de 263.79±35.63 kg/ha [4]. Aucun traitement phytosanitaire n'a été réalisé dans les casiers rizipiscicoles.

Au cours de cette polyculture tilapia-clarrias, les poissons étaient nourris avec trois types d'aliment qui ont constitué les traitements de cette expérimentation, à savoir : la fertilisation organique seule (T1), la fertilisation organique associée à la distribution de farine basse de riz (T2) et enfin (T3) un apport d'aliment composé (farine basse de riz à 70% et tourteau de coton à 30%) en plus de la fertilisation organique [5] et 4 casiers témoins où il n'y avait aucun poisson.

A la récolte du riz qui intervient après un cycle de culture de 120 jours. La production de riz paddy de chacune des 16 rizières a été enregistrée. La production de poissons, toutes espèces confondues, a été aussi relevée après le cycle d'élevage dans les rizières empoissonnées.

Prélèvement des échantillons de sols : Les différents étangs situés dans les villages de Mofa, Dougourakoro, Baguineda, et Soundougouba ont été échantillonnés en des points spécifiques (Hors refuge et dans le refuge) à une profondeur de 0-20 cm. Au total 36 échantillons ont été collectés et analysés au laboratoire SEP de Sotuba en 2015 et 2016.

Analyses de laboratoires : Les analyses physico-chimiques de laboratoire suivantes ont été faites sur les échantillons, selon [6]: granulométrie, pH, matière organique, P assimilable, azote, bases échangeables (Ca, Mg, K, Na).

Critères d'évaluation de la fertilité des sols : Les critères clés que sont le pH, le carbone (C) et le phosphore assimilable (Passim.) ont été retenus pour caractériser l'état de fertilité des sols. Le pH des sols a été essentiellement évalué selon le seuil critique de 5.5 au-dessous duquel l'acidité réduit considérablement la croissance et les rendements des cultures [7].

Les taux de matière organique des sols ont été évalués selon un seuil critique de 6 g/kg au-dessous duquel la matière organique ne joue pas suffisamment son rôle de stabilisateur de la structure du sol [8]. Les teneurs en P assimilable des sols de la zone du projet ont été essentiellement évaluées selon un seuil critique de 7 mg.kg⁻¹ de sol au-dessous duquel le niveau de P assimilable est jugé déficient [9].

Analyse statistique.

L'influence du facteur traitement, incluant le témoin pour les rendements de riz, a été évaluée par ANOVA à 1 facteur après avoir validé la normalité des données. Les résultats des analyses du sol ont fait l'objet de comparaison de moyennes par le test de Newman et Keuls.

Le traitement des données a été réalisé avec le logiciel libre RStudio 4.3.1 version 2023.

Les rendements de riz, d'une année sur l'autre et entre traitements liés à l'alimentation des poissons, ont varié de 1.92±0.27 T/ha à 3.72±0.65 T/ha.

Bien que nous constations une augmentation du rendement de riz de 7.5 % en 2013-14 et 10.5 % en 2015-16 dans les rizières piscicoles où les poissons sont nourris avec un aliment complexe par rapport aux rizières témoin, ces différences ne sont cependant pas statistiquement significatives. Les rendements de riz seraient les mêmes qu'il y ait ou pas de poissons dans les rizières. Cette conclusion serait imputable à la faible taille des échantillons de l'étude. Elle reste en adéquation avec l'analyse faite par [10] qui trouve que le modèle riz-poisson présente, en Chine, le même niveau de stabilité du rendement en riz que le modèle de monoculture de riz mais avec des consommations de pesticides inférieures voire inexistantes.

Le mécanisme explicatif de l'amélioration de la fertilité des sols de rizières par les poissons reste toutefois plus complexe [11]. Les poissons ont une grande capacité de production d'azote par le biais de leurs déjections. Ils rejettent également des excréments riches en phosphore qui peuvent concourir à améliorer la fertilité des sols.

Au Mali, les surfaces exploitées actuellement pour la riziculture ne représentent que 14% des surfaces potentielles irrigables estimées à 2.2 millions d'hectares [1]. Les surfaces impliquées dans cette innovation technologique, culture du riz et élevage de poissons, sont encore plus faibles (moins de 1%).

Si à moyen voire long terme (20 ans), l'augmentation des superficies rizipiscicoles pouvait atteindre 15% des surfaces aujourd'hui cultivées en riz irrigué, il en résultera un accroissement conséquent de la production agricole. En effet, d'après [1] parmi les atouts encore inexploités pour accroître et diversifier la productivité agricole au Mali, on peut noter, entre autres, le défi de combler les insuffisances d'infrastructures. La productivité agricole dépend de nombreux facteurs. En accord avec [12], l'augmentation de la productivité agricole est multi-factorielle. Elle nécessite des mesures d'accès au crédit, à la formation des agriculteurs par les services de vulgarisation, à l'accès aux soins de santé en faveur des membres des ménages agricoles et aussi à l'innovation technologique. Leur conjonction serait un moyen d'utilisation rationnelle des ressources dans le processus de production qui conduirait à assurer la sécurité alimentaire.

En conclusion, les rendements de production de riz paddy dans les rizières empoissonnées dans cette recherche ne sont pas significativement différents de ceux de la monoculture de riz. Malgré l'absence d'effet de la rizipisciculture, contrairement à d'autres recherches, les paysans peuvent en tirer un avantage, nutritionnel et/ou financier, à travers la disponibilité de produits de qualité, riche en protéines, le poisson en plus du riz. En revanche, cette recherche montre que l'élevage des poissons dans les rizières améliore la fertilité de leurs sols à travers l'amélioration de la matière organique, du pH et du phosphore assimilable. Les poissons contribuent également à réduire les nuisibles du riz. L'existence d'importants potentiels de riziculture irriguée ainsi que la situation de déficit marqué en produits aquatiques au Mali constituent un espoir pour envisager le développement de cette filière. Cette innovation pourrait ainsi contribuer à l'accroissement de la productivité agricole.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement le Projet d'Appui à l'Enseignement Supérieur (PAES) soutenu par la BAD (Banque Africaine de Développement) et la Commission de l'UEMOA (Union Économique et Monétaire de l'Afrique de l'Ouest) pour le financement de ce projet. Réf. n° 07815/2012/DDS/DESFP/PAES.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

FIDA, 2021. L'avenir de l'agriculture au Mali, 2030-2063 – Etude de cas : Défis et Opportunités pour les projets financés par le FIDA.

https://www.ifad.org/documents/38714170/43334911/Mali_IFA_D+Futur+de+l%27agri.pdf/eb878b5d-30d6-27a7-8914-bbbed0e68bf0?t=1625228840974

Nkuingoua, J. et Pernechele, V., 2022. *Suivi des politiques agricoles et alimentaires au Mali - Rapport d'analyse politique*. Suivi et analyse des politiques agricoles et alimentaires (SAPAA). Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb8952fr>.

- Hong S., 2007, *Le stockage, la production et la collecte de poissons dans les casiers à riz irrigué dans le Bassin du Mékong.* Synthèse technique, CIRAD, 16 p.
- Niaré T. et Kalossi M., 2014. La rizipisciculture au Mali : Pratiques et perspectives de l'innovation piscicole. *Tropicultura*, 32, 3, 121-128.
- Niaré T., Timbélé D. et Kadio H., 2023. Performances zootechniques de *Oreochromisniloticus* (Linnaeus, 1758) et de *Clariasanguillaris* (Linnaeus, 1758) en polyculture dans les rizières (Baguinéda, Mali). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(5): 2008-2024, August 2023, ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). Available online at <http://www.ifgdg.org>.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P.A., & Lopperry, R.H., 1996. Methods of Soil Analy Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series 5.3. Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society Agronomy.
- Kamprath E.J., 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *SoilSci. Soc. Am. Proc.* 24:252-254.
- Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère de la Coopérationet CIRAD-IRAD, 444P.
- Olsen S.R. et Sommers L.E., 1982. Phosphorus. In: Page AL, et al (eds), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, 2nd edn, AgronMonogr 9. ASA and ASSA, Madison WI, pp 403-430.
- Lazard J, 2014. La diversité des piscicultures mondiales illustrée par les cas de la Chine et du Nigeria. *Cahier Agricultures*, 23: 24-33. DOI : 10.1684/agr.2014.0680
- Rakotondramiadana M. F., 2019. La rizipisciculture : *Un modèle agroécologique innovant et efficient pour Madagascar*. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, 33p.
- Yaï D.E., Yabi J.A., Biaou G., Anne Floquet A. et Degla P., 2020. Productivité agricole et sécurité alimentaire des ménages agricoles du Département de l'Atacora au Bénin. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture* : 3(2) 17- 27

Détermination de la valeur alimentaire et nutritionnelle des graminées fourragères *brachiaria ruziziensis* et *andropogon gayanus* au Mali

Seydou SANGARÉ¹, Suzanne DOUYON¹, Alima DJIRÉ¹, Moussa TANGARA^{1*}, Seydou SIDIBÉ²

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katiougou : Laboratoire d'Agrostologie et de Nutrition Animale de l'IPR.IFRA de Katiougou

²Institut d'Economie Rural : Laboratoire de Nutrition Animale du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba

*moussatangara2000@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Les ressources pastorales dans la zone soudano-sahélienne subissent des variations quantitatives et qualitatives en fonction des saisons et des années qui peuvent engendrer une diminution de la disponibilité fourragère. L'objectif de cette étude est d'améliorer l'alimentation des animaux à travers la détermination de la valeur alimentaire des fourrages de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus* à partir de leur composition chimique. Des enquêtes ont été conduites à travers un échantillon de soixante-douze agro-éleveurs pratiquant la culture des fourrages dans la zone péri-urbaine de Bamako et environnantes. Vingt échantillons de fourrage, dont dix échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et dix échantillons d'*Andropogon gayanus*, ont été choisis au hasard. Les échantillons collectés dans la zone périurbaine de Bamako et environnantes ont été analysés pour déterminer leur teneur en matière sèche, en cendres brutes, en matière azotée totale, en cellulose brute, en matière grasse, en énergie brute, en calcium et en phosphore par les techniques spectroscopiques et calorimétriques. Les résultats des analyses bromatologiques et nutritionnelles des différents échantillons ont montré que la teneur en matière sèche d'*Andropogon gayanus* est supérieure avec une valeur de 95,86 contre 95,56% de *Brachiaria ruziziensis*. *Brachiaria ruziziensis* a eu une teneur faible en matière organique avec une valeur de 88,02% qui est faible par rapport à *Andropogon gayanus* qui a donné une valeur de 91,02%. La teneur en cellulose brute d'*Andropogon gayanus* obtenue dans cette étude est élevée avec une valeur de 41,09 contre 32,56% de *Brachiaria ruziziensis*. Il ressort que *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus* peuvent contribuer à l'amélioration de l'alimentation des animaux grâce à leur potentiel nutritionnel.

Mots-clés : Graminées fourragères, *Brachiaria ruziziensis*, *Andropogon gayanus*, valeur alimentaire, valeur nutritionnelle.

ABSTRACT: Pastoral resources in the Sudano-Sahelian zone undergo quantitative and qualitative variations depending on the seasons and years, which can lead to a decrease in available fodder. The objective of this study is to improve animal feed through the determination of the feed value of *Brachiaria ruziziensis* and *Andropogon gayanus* fodder based on their chemical composition. Surveys were conducted through a sample of seventy-two agro-pastoralists practicing fodder cultivation in the peri-urban area of Bamako. Twenty forage samples, including ten samples of *Brachiaria ruziziensis* and ten samples of *Andropogon gayanus*, were randomly selected. The samples collected in the peri-urban area of Bamako and surrounding areas were analyzed to determine their dry matter, crude ash, total nitrogenous matter, crude cellulose, fat, crude energy, calcium and phosphorus by spectroscopic and calorimetric techniques. The results of the bromatological and nutritional analyzes of the different samples showed that the dry matter content of *Andropogon gayanus* is higher with a value of 95.86 against 95.56% of *Brachiaria ruziziensis*. *Brachiaria ruziziensis* had a low organic matter content with a value of 88.02%, which is low compared to *Andropogon gayanus*, which gave a value of 91.02%. The crude cellulose content of *Andropogon gayanus* obtained in this study is high with a value of 41.09 against 32.56% of *Brachiaria ruziziensis*. It appears that *Brachiaria ruziziensis* and *Andropogon gayanus* can contribute to the improvement of animal feeding thanks to their nutritional potential.

Key words: Forage grasses, *Brachiaria ruziziensis*, *Andropogon gayanus*, feed value, nutritional value.

INTRODUCTION

L'élevage des ruminants dans la zone soudano-sahélienne est marqué par son mode extensif, basé sur l'utilisation des ressources fourragères, fortement dépendant de l'utilisation des pâturages, des parcours et des jachères. Ces ressources pastorales subissent de grandes variations

quantitatives et qualitatives en fonction des saisons. Ces variations saisonnières des ressources pastorales ont engendré la diminution du disponible fourragère entraînant la faible capacité de production fourragère qui pèse toutefois lourdement sur le développement des filières.

En production animale, l'alimentation des ruminants s'avère être un facteur limitant à l'amélioration de la productivité des animaux, surtout pendant la période de soudure pastorale, qui est une phase critique pour les animaux de production sur le plan nutritionnel. Cette insuffisance cruciale des ressources fourragères et alimentaires pendant la saison non pluvieuse demeure le principal facteur limitant pour la semi-intensification des productions animales dans les zones soudano sahéliennes.

La gestion pastorale de cette période difficile pour les animaux de production qui va varier en fonction des conditions climatiques passe notamment par une organisation de stocks de fourrages naturels et cultivés. Parmi les graminées fourragères, certaines conservent leur biomasse avec des teneurs en substances nutritives de qualité durant une partie de la saison sèche [4]. Pour pallier le déficit fourager, la production de fourrages à travers certaines cultures fourragères, telles que : *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus* doit être intensifiée dans les zones de productions végétales et animales dans la région ouest-africaine. Dans ce contexte, les graminées fourragères pourront occuper une place non négligeable dans l'alimentation du bétail au moment où la valeur nutritive de l'herbe baisse progressivement. Il est important de connaître la valeur nutritive des graminées fourragères susceptibles d'être utilisées dans l'alimentation du bétail. L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration de l'alimentation des animaux à travers la détermination de la valeur alimentaire des fourrages de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus* à partir de leur composition chimique.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Dispositif expérimental

Une enquête agroéconomique a été conduite à travers un échantillon des agro-éleveurs pratiquant la culture des fourrages dans la zone péri-urbaine de Bamako pour mieux comprendre leurs perceptions sur l'utilisation des fourrages dans la production animale et le mode d'alimentation des animaux de production.

Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de 20 échantillons au total de fourrage, dont 10 échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et 10 échantillons d'*Andropogongayanus*. Tous les échantillons ont été collectés chez des éleveurs dans les zones périurbaines de Bamako.

- *Brachiaria ruziziensis* (B-R)

Le Brachiaria ruziziensis est une espèce de graminée d'Afrique tropicale du genre *Brachiaria*. *Brachiaria ruziziensis* se développe en touffes (1 à 1,50m à la floraison) qui s'étalent sur le sol quand il n'est pas coupé, formant un tapis dense. Il résiste à une saison sèche de 5 à 6 mois à condition que la pluviométrie annuelle soit comprise entre 800 et 1800 mm [14]. Le taux de protéines brutes s'élève en moyenne de 7 à 13% mais peut atteindre 20% [1]. La digestibilité de cette graminée varie entre 50 à 75% en fonction de son stade phénologique [1].

- *Andropogon gayanus* (A-G)

Andropogon gayanus est une graminée fourragère cespitueuse dont les touffes peuvent atteindre 3 m de haut et 1 m de diamètre basal. Elle se trouve très fréquemment dans les savanes marécageuses et herbeuses des basses plaines alluviales [22]. Les expérimentations ont montré une bonne tolérance de cette espèce à la sécheresse, qui est due à sa capacité de s'enraciner profondément et de puiser dans les réserves hydriques du sol [4]. En saison pluvieuse, la plante a une forte production et son feuillage demeure vert pendant une bonne partie de la saison sèche [5].

- *Materiel technique*

Le matériel technique était composé d'une balance électronique (pour la pesée des échantillons), d'une étuve (pour la détermination de la matière), d'un four à mouflé (pour la détermination de la cendre), d'un bloc minéralisateur (pour la minéralisation), d'un distillateur d'azote (pour le dosage de l'azote), d'un extracteur de matière grasse (pour la détermination de la matière grasse), d'une pompe à vide (pour la filtration de la cellulose), d'un photomètre à flamme (pour la détermination du calcium), d'un spectrophotomètre (pour la détermination du phosphore) et la bombe calorimétrique (pour déterminer l'énergie brute).

Méthodes d'analyses

Méthodes d'analyses des échantillons

- *Détermination de la matière sèche (MS)*

La teneur en matière sèche (MS) a été déterminée par séchage dans l'étuve à une température de 105°C sur une prise d'essai d'échantillon de 2 g (P_1) placé dans un creuset en porcelaine. Après 4 heures de temps, l'échantillon a été récupéré, refroidi et pesé de nouveau pour déterminer le poids P_2 . Le taux de matière sèche a été obtenu par différence de poids entre P_2 et P_1 .

- *Détermination de la cendre brute*

Après la détermination de la matière sèche, l'échantillon a été calciné dans un four à mouflé à 550°C pendant 6 heures de temps. Ensuite, il a été retiré et refroidi dans un dessiccateur avant de

déterminer le poids P_3 . La différence de poids entre P_3 et P_1 a permis de déterminer la teneur en cendres.

- *Détermination de la cellulose brute (CB)*

La cellulose a été déterminée par la méthode de Weende avec deux hydrolyses (acide puis basique). Cela permet la destruction plus ou moins des autres constituants de la paroi cellulosique que sont : les hémicelluloses, la lignine, les tanins et les matières pectiques.

Une prise d'essai de 1g est introduite dans des bêchers de 600 ml. Ensuite 50 ml de solution d'acide sulfurique à 0,3 N est ajoutée. Les bêchers sont ensuite portés à l'ébullition sur une plaque chauffante pendant 30 minutes. Après cette première hydrolyse, on les laisse refroidir pendant 5 minutes puis on y ajoute 25 ml d'une solution de KOH et on les dépose de nouveau sur la plaque chauffante pendant 30 minutes. Après les deux hydrolyses, les échantillons sont filtrés à l'aide d'un système de filtration sous vide et rincés successivement avec de l'eau chaude puis avec d'acide sulfurique à 0,1 N et enfin avec de l'eau chaude.

Le résidu obtenu est séché à l'étuve à 150°C pendant 2 heures puis refroidis dans un dessiccateur et pesé pour avoir le poids P_1 . Enfin les résidus sont incinérés dans le four à 700°C pendant 2 heures, refroidis dans le dessiccateur et pesé pour déterminer le poids P_2 . La perte de poids résultant de la calcination correspond à la teneur en cellulose brute.

- *Détermination de l'azote*

La détermination des MAT a été faite en utilisant la méthode KJELDAHL. Une prise d'essai de 0,3 g a été introduite dans la colonne et minéralisée en ajoutant 12 ml d'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur approprié (K_2SO_4 , $CuSO_4 \times 5H_2SO_4$). La minéralisation a été effectuée à l'aide d'un bloc minéralisateur à 420°C pendant 1 heure. Au cours de la minéralisation, l'azote organique transformé en ammonium, après distillation a été recueilli dans une solution d'acide borique mélangée à un indicateur coloré (30 ml). La solution de couleur violette est passée à la coloration verte.

La solution verdâtre a été titrée avec une solution d'acide sulfurique diluée de normalité 0,1 jusqu'à l'obtention de la coloration initiale (violette), puis le volume V d'acide sulfurique qui a conduit au virage a été noté pour déterminer le taux d'azote.

La teneur en protéines a été déterminée selon la formule % P (protéines) = % N x 6,25.

- *Détermination de la matière grasse*

Elle a été faite par la méthode de Soxhlet qui consiste à extraire la matière grasse contenue dans l'échantillon à l'aide d'un extracteur en utilisant un solvant. Le ballon vide est préalablement chauffé puis pesé (P_1). Ensuite deux grammes de l'échantillon

sont pesés et introduits dans une cartouche bouchée avec du coton, laquelle sera placée dans un extracteur. Ce dernier est placé sur un ballon et relié à un réfrigérant. 200 ml de l'hexane a été versé dans l'extracteur. L'ensemble a été porté à l'ébullition par le système de chauffage. La matière grasse contenue dans l'échantillon a été extraite pendant six heures par le solvant. Après l'extraction, le solvant a été récupéré et la matière grasse restait au fond du ballon. Le ballon a été ensuite placé dans l'étuve à une température de 80°C pendant une heure pour évaporer le solvant restant. Après, il a été refroidi dans le dessiccateur et pesé pour déterminer le poids P_2 . La différence de poids entre P_2 et P_1 permet de déterminer la teneur en matière grasse.

- *Détermination de l'énergie brute*

0,20 à 0,25 grammes de l'échantillon ont été pesés dans un creuset, qui ensuite, a été ensuite placé dans une bombe calorimétrique préalablement chargée d'oxygène médical et placée dans le calorimètre. Après explosion, la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion de l'échantillon est directement lisible sur un petit écran en j/g. Pour convertir le résultat en kcal/kg, il a été divisé par 4,18.

- *Détermination du calcium et du phosphore*

Le calcium a été déterminé par photométrie à l'aide d'un photomètre à flamme et le phosphore par spectrophotométrie en utilisant le Thermo Scientific Spectronic 33-22-79 spectronic 21.

Le principe consiste à minéraliser l'échantillon avec de l'acide sulfurique concentré et de l'eau oxygénée jusqu'à l'obtention d'une solution claire. Ensuite on procède à la lecture de l'échantillon minéralisé, après avoir calibré l'appareil des solutions filles de concentrations différentes (200 ppm ; 100 ppm ; 50 ppm ; 20 ppm ; 10 ppm), préparées à partir des solutions mères de Calcium et de phosphore.

Analyses statistiques

Les données ont été analysées selon la méthode d'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur au seuil de probabilité de 5% à l'aide du logiciel STATA.

RESULTATS

Résultats des analyses bromatologiques :

Les résultats des analyses bromatologiques et de la valeur alimentaire des différents échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus* obtenus au cours de cette étude sont portés dans le tableau 1.

Teneur en matière sèche

Les résultats de l'analyse de la figure 1 révèlent des variations de la teneur en matière sèche au sein des deux espèces fourragères et entre elles. La

matière sèche moyenne d'*Andropogon gayanus* et de *Brachiaria ruziziensis* sont respectivement 95,86 et 95,56%.

Teneur en matière organique

Les résultats de la figure 2 montrent que la teneur de *Brachiaria ruziziensis* est légèrement inférieure à celle d'*Andropogon gayanus* avec respectivement 88,02 et 91,02%.

Teneur en matière azotée totale

La figure 3 montre des variations tant bien au sein des deux espèces qu'entre les deux espèces. Cependant les moyennes sont différentes respectivement 4,25% pour *Brachiaria ruziziensis* et 2,75% pour *Andropogon gayanus*.

Teneur en matière grasse

Les résultats de la figure 4 montrent que la teneur en matière grasse de *Brachiaria ruziziensis* avec

1,90% est légèrement supérieure qu'*Andropogon gayanus* avec 1,77%.

Teneur en cellulose brute

Les résultats de la figure 5 montrent une variation au sein de la même espèce. La moyenne d'*Andropogon gayanus* est supérieure à celle de *Brachiaria ruziziensis* avec respectivement 41,09 et 32,56%.

Teneur en cendre brute

La figure 6 montre des variations aussi bien au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces. En moyenne, *Brachiaria ruziziensis* a donné une teneur en cendre brute plus élevée 7,54% qu'*Andropogon gayanus* 4,84%.

*Tableau 1 : Résultats des analyses bromatologiques et valeur alimentaire des échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus*.*

Nature de l'échantillon	Constituants organiques, % MS					Constituants minéraux, % MS					valeur énergétique EB kcal/kg MS
	MS	MO	PB	CB	MG	MM	Ca	P	Na	K	
E1 B-R	95,83	90,87	3,25	34,85	1,62	4,96	0,10	0,09	0,58	1,23	4024,75
E2 B-R	96,45	90,04	3,30	34,63	1,40	6,41	0,12	0,23	1,76	1,62	3912,89
E3 B-R	95,80	89,19	3,59	34,76	2,09	6,61	0,16	0,06	0,68	1,91	3869,17
E4 B-R	95,70	87,88	4,31	34,74	1,57	7,82	0,21	0,09	0,73	1,93	3695,84
E5 B-R	95,78	90,68	4,31	32,68	2,66	5,10	0,28	0,06	0,67	2,14	3705,46
E6 B-R	95,00	86,44	5,26	31,00	2,32	8,56	0,26	0,09	0,69	1,82	3803,98
E7 B-R	95,13	86,56	4,75	33,43	1,52	8,57	0,33	0,09	0,78	1,92	3605,36
E8 B-R	95,78	86,72	4,18	31,32	1,83	9,06	0,17	0,13	0,73	1,81	3662,22
E9 B-R	95,50	85,92	4,71	29,84	1,83	9,58	0,13	0,09	0,68	1,39	3740,68
E10 B-R	94,65	85,88	4,82	28,35	2,17	8,77	0,68	0,26	1,42	1,86	3625,35
Moyenne	95,56	88,02	4,25	32,56	1,90	7,54	0,24	0,12	0,87	1,76	3764,57
E1 A-G	96,30	92,20	2,27	42,37	0,62	4,10	0,40	0,17	0,44	0,94	3772,62
E2 A-G	96,20	91,49	3,11	30,46	1,72	4,71	0,09	0,09	0,15	0,67	3922,26
E3 A-G	96,25	91,99	2,01	40,62	1,25	4,26	0,39	0,17	0,44	0,68	3867,93
E4 A-G	95,70	91,89	2,69	41,41	2,04	3,81	0,28	0,09	0,50	0,82	4007,33
E5 A-G	95,40	90,21	4,26	42,14	2,52	5,19	0,24	0,09	0,58	0,86	4059,45
E6 A-G	95,40	86,44	2,29	43,50	2,36	8,96	0,24	0,17	0,64	0,93	4131,07
E7 A-G	95,15	91,37	2,56	42,67	2,36	3,78	0,25	0,20	0,54	0,94	3762,21
E8 A-G	96,20	91,47	2,59	41,94	0,83	4,73	0,26	0,29	0,57	1,07	3958,35
E9 A-G	96,30	91,83	2,40	43,98	1,45	4,47	0,30	0,03	0,53	1,08	4007,99
E10 A-G	95,65	91,26	3,33	41,82	2,51	4,39	0,30	0,17	0,66	0,85	3826,78
Moyenne	95,86	91,02	2,75	41,09	1,77	4,84	0,28	0,15	0,51	0,88	3931,60

Avec : E : Echantillon ; BR : *Brachiaria ruziziensis* ; AG : *Andropogon gayanus*, MS : Matière sèche, MO : Matière organique ; PB : Protéines brute ; CB : Cellulose brute ; MG : Matière grasse ; MM : Matière minérale ; Ca : Calcium ; P : Phosphore; Na : Sodium ; K : Potassium ; EB : Energie brute.

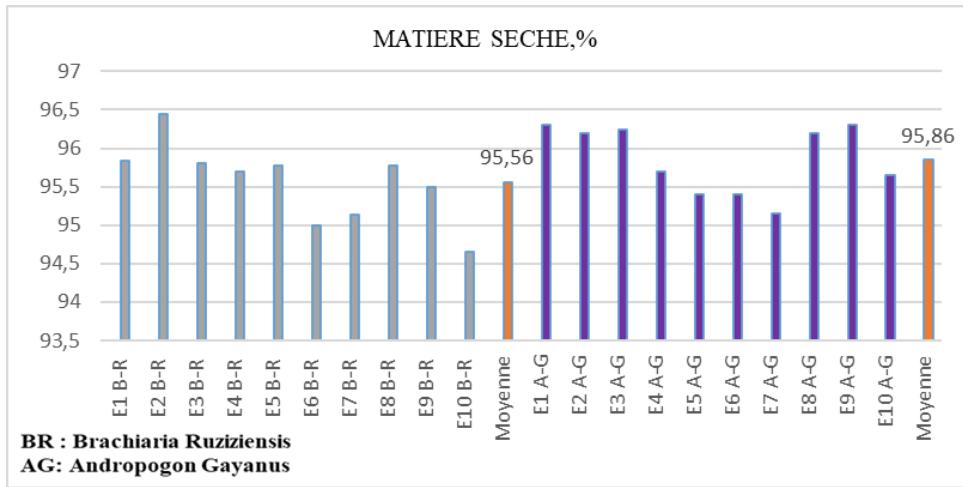


Figure 1:Teneur en matière sèche

Teneur en calcium

La figure 7 montre que la teneur en calcium de *Brachiaria ruziziensis* est légèrement inférieure à celle d'*Andropogon gayanus* avec respectivement 0,24% et 0,28%.

Teneur en phosphore

Les résultats de la figure 8 montrent une grande variation au sein de la même espèce et une légère variation entre les deux espèces avec une moyenne 0,15% pour *Andropogon gayanus* et 0,12%. Pour *Brachiaria ruziziensis*

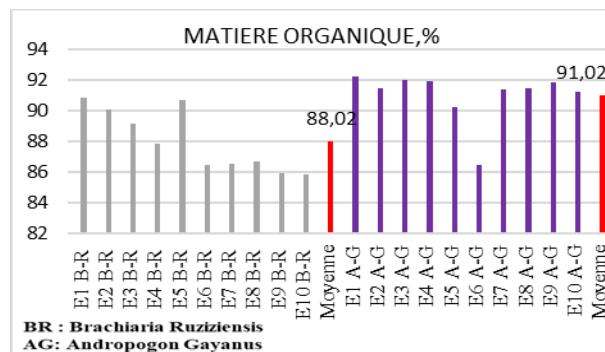


Figure 2 : Teneur en matière organique.

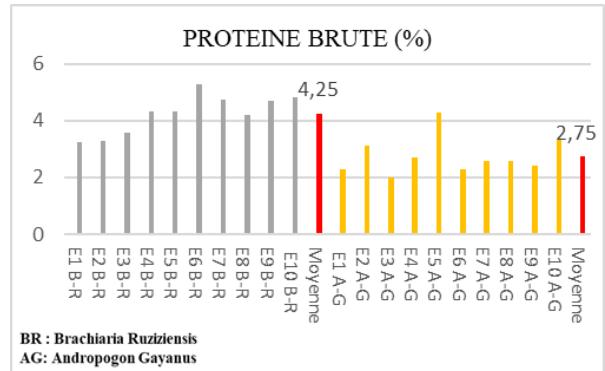


Figure 3:Teneur en matière azotée totale.

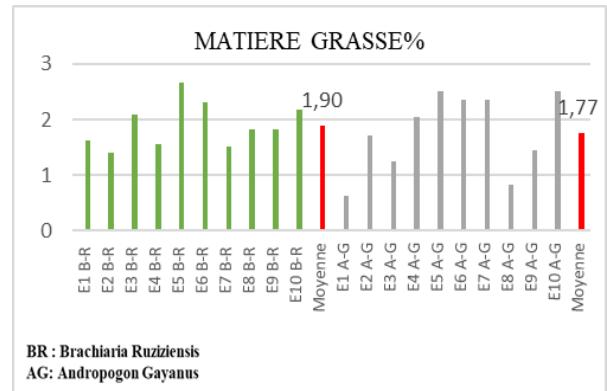


Figure 4:Teneur en matière grasse.

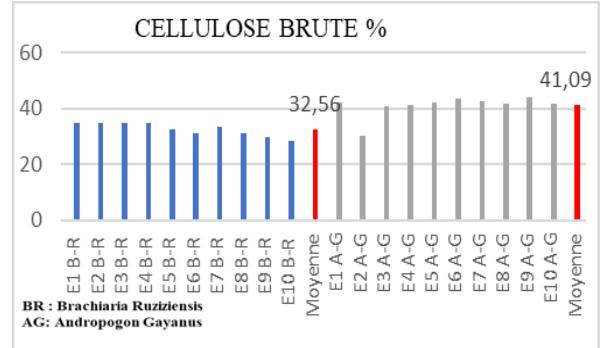


Figure 5:Teneur en cellulose brute

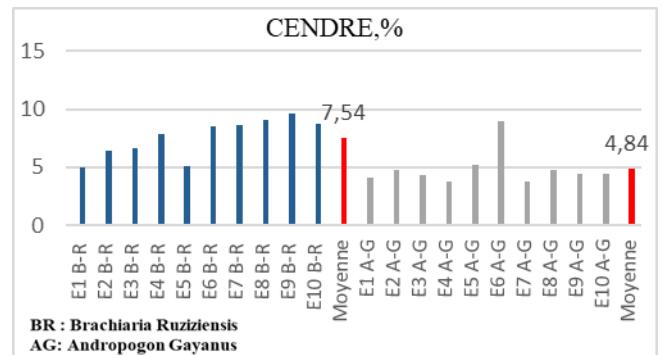


Figure 6 : Teneur en cendre brute.

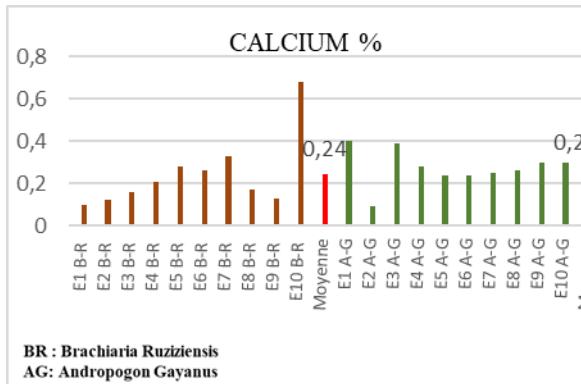


Figure 7: Teneur en calcium.

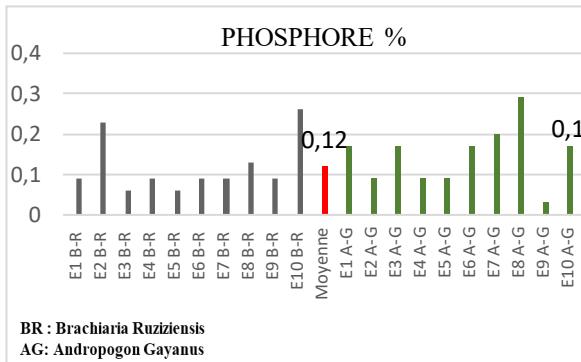


Figure 8: Teneur en phosphore.

Teneur en sodium

Les résultats de la figure 9 montrent une variation au sein de la même espèce. La moyenne d'*Andropogon gayanus* est inférieure à celle de *Brachiaria ruziziensis* avec respectivement 0,51 et 0,87%.

Teneur en potassium

Les résultats de la figure 10 montrent une variation tant au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces, avec 0 ,88% de potassium pour *Andropogon gayanus* et 1,76% pour *Brachiaria ruziziensis*.

Teneur en énergie brute

La figure 11 montre des variations au sein des échantillons de *Brachiaria ruziziensis* et d'*Andropogon gayanus*, avec respectivement 3931,60 kcal/kg MS pour *Andropogon gayanus* et 3764,57kcal/kg MS pour *Brachiaria ruziziensis*.

DISCUSSION

L'insuffisance cruciale des ressources alimentaires et fourragères pendant la saison non pluvieuse demeure le principal facteur limitant pour la semi-intensification des productions animales dans les zones soudano sahéliennes.

La gestion zootechnique de cette période difficile pour les animaux de production qui peut varier en fonction des conditions climatiques passe notamment

par une organisation de stocks de fourrages naturels et cultivés

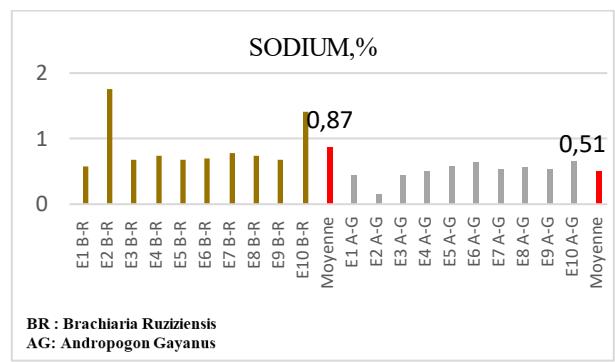


Figure 9 : Teneur en sodium.

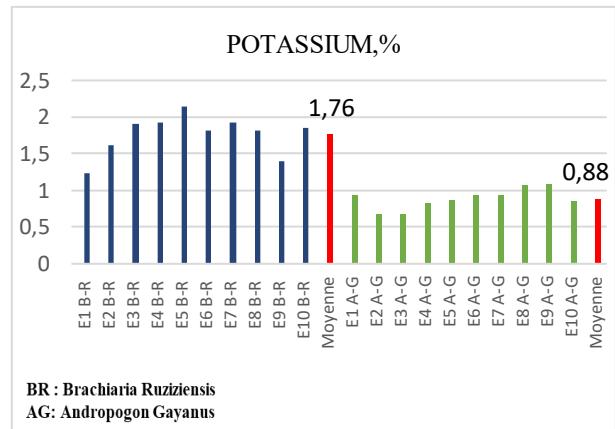


Figure 10: Teneur en potassium

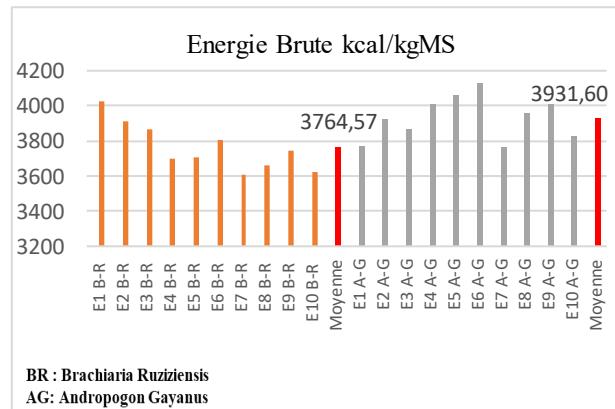


Figure 11: Teneur en énergie brute.

Détermination de la valeur alimentaire et nutritionnelle de *Brachiaria ruziziensis*

La teneur en matière sèche de *Brachiaria ruziziensis* obtenue dans la présente étude est de 95,56%. Cette valeur est supérieure à celle rapportée par [4], qui est de 93,73%. Elle est inférieure à celles rapportées par [9]. Qui est de 95,92% et [18]. qui est de 96,5%.

La teneur en matière organique obtenue dans cette étude est de 88,02%. Cette valeur est inférieure au résultat de 89,1% rapporté par [25]. De même, elle est inférieure à celle trouvée (86,8%) par [18]. Elle

est supérieure à celle rapportée par [4] qui est de 85,46%.

La teneur obtenue par rapport à la cellulose brute est 32,56%. Elle est supérieure à celles obtenues par [15] (27%) Elle est par contre inférieure aux valeurs rapportées par [1] 33% et par [4] avec 34,62%.

La teneur en matière azotée totale obtenue 4,25% est supérieure à celle rapportée par [9] 3,65%. Elle est inférieure à celles trouvées (12,2%) par [7], (7,9%).) par [1] et 6,01% par [4].

La valeur de la matière grasse enregistrée est 1,90%. Elle est supérieure à celle rapportée par [9] qui est de 0,20%. Par ailleurs, elle est comparable à celle de [16] qui est de 2%.

Concernant la cendre, le résultat obtenu est 7,54%. La teneur en cendre est inférieure au résultat enregistré par [7] qui est de 12,8%. Par ailleurs, elle converge vers celle de [16] qui est de 8,5%.

La valeur en calcium obtenue dans cette étude 0,28% est inférieure à celles rapportées (0,32%) par [9] et par [20] avec 2,8%.

Quant au phosphore, la teneur enregistrée est 0,12% est inférieure à celle citée par [9] et [18] avec respectivement 0,23% et 0,21%.

Détermination de la valeur alimentaire et nutritionnelle d'*Andropogon gayanus*

La teneur en matière sèche obtenue dans cette étude est de 95,86%. Ce résultat est supérieur à ceux rapportée par [9] qui est de 95,15% et 92,97% rapportée par [4].

La teneur en matière organique enregistrée 91,02% est inférieure à celle obtenue 91,2% par [10].

La teneur en cellulose brute trouvée est 41,09. Elle est supérieure à celle obtenue par [21] qui est de 30,1% et [16] qui variait entre 20 et 30%. Cette valeur est inférieure à celle mentionnée par [20] qui est de 42,5%.

Par rapport à la matière azotée totale, la valeur obtenue dans cette étude 2,75% est inférieure est à celle mentionnée par [9] qui est de 2,77%.

La teneur en matière grasse obtenue est 1,77%. Elle est supérieure à celle obtenue par [9] qui est de 0,21%. Elle est inférieure à la valeur de 3% rapportée par [16].

Pour la cendre brute, la valeur de 4,84% enregistrée dans la présente étude est inférieure à celle enregistrée 6,06% par [12].

La teneur en calcium obtenue dans cette étude 0,28% est supérieure au résultat obtenu par (Bolly,2020) qui est de 0,10%. Elle est inférieure aux

résultats obtenus par [9] et par [20] avec respectivement 0,32 et 2,8%.

Concernant le phosphore, la valeur obtenue 0,15% est inférieure à celle rapportée 1,5% par [20].

Relatif au sodium, les analyses ont donné une moyenne d'*Andropogon gayanus* qui est inférieure à celle de *Brachiaria ruziziensis* avec respectivement 0,51 et 0,87%.

Quant au potassium, les analyses ont montré une variation tant au sein de la même espèce qu'entre les deux espèces, avec 0 ,88% de potassium pour *Andropogon gayanus* et 1,76% pour *Brachiaria ruziziensis*.

Ces résultats montrent que *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus* ont un potentiel nutritionnel en macroéléments susceptibles de couvrir les besoins des animaux.

Les différences entre les espèces, le stade végétatif au moment de la fauche, le type de sol, les méthodes de conservation des fourrages etc. peuvent être des sources de variations qui affectent la composition chimique du produit.

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que *Andropogon gayanus* et *Brachiaria ruziziensis* sont deux graminées relativement comparables en ce qui concerne leurs teneurs en matière organique, cellulose brute, matière grasse, phosphore, énergie brute, matière azotée digestible, matière sèche, protéines brutes, matière grasse et en énergie brute. D'un point de vue nutritionnel, l'utilisation de ces deux graminées fourragères peut être une alternative zootechnique importante des systèmes d'alimentation pour amoindrir le stress nutritionnel chez les animaux de production en période de déficit fourrager herbacé. En somme, les fourrages *Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus* peuvent contribuer à l'amélioration de l'alimentation des animaux grâce à leur potentiel nutritionnel dans les zones sahéliennes et soudano sahéliennes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] Amaury G. 2010 : Etude des apports alimentaires et des possibilités de complémentation minéral de bovins N'Dama sur pâturages artificiels à BrachiariaSp. Au Ranch De Kolo (RDC). 52 p.
- [2] Andrioli I. 2004. Plantas de coberturaem pré-safra à cultura do milhoemplantiodireto, na região de Jaboticabal-SP. Thèse de Doctorat, Université de São Paulo, Faculté des sciences agraires (Brésil), 78 p.
- [3] Baumont R., AufrereJ., Niderkom V., Andueza D., Surault F., Peccate J. R., Delaby L., Pelletier P., 2008 : la diversité spécifique dans le fourrage : conséquences sur la valeur alimentaire 191p.
- [4] Bolly O. (2020) : Détermination de la valeur alimentaire de

- deux graminées fourragères (*Brachiaria ruziziensis* et *Andropogon gayanus*) à partir de leur composition chimique, Mémoire de fin de cycle, Décembre 2020.
- [5] Breman, H. & N. de Ridder, 1991. Manuel sur les pâtures des pays sahéliens. Paris, Karthala.
- [6] Buldgen A., Dieng A. (1997). *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* : une culture fourragère pour les régions tropicales. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 171 p.
- [7] Châtaigner F., Emile J.C., Al Rifai M., Barré, P. 2011. Prédiction de la composition chimique de variétés de sorgho vert par spectrométrie proche infrarouge, fourrages, 206,129-132.
- [8] Diallo, M (2013) : cours de Biochimie structurale de la Faculté des Sciences et des Technologie de Bamako.1, 3,8 p
- [9] Diepkile A., 1995 : Tableau de la composition chimique et de la valeur nutritive des aliments du Mali. Mémoire de fin de cycle, IPR/IFRA de Katibougou. 54, 45,48, 56,59, 60p.
- [10] Fane S., 2018 : Détermination de la valeur alimentaire de trois fourrages ligneux (*Pterocarpus erinaceus*, *Pterocarpus lucens* et *Ficus gnaphalocarpa*) à partir de leurs compositions chimiques. Mémoire de fin de cycle de l'IPR/IFRA de Katibougou. 1p.
- [11] INRA (Institut National de Recherche Agricole) : 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins, Besoins des animaux, Valeur des aliments. Tables INRA 2007 Éditions Quae. Versailles, 307p.
- [12] Kaminski J, Elbehri A et Samaké. M. 2013. Une évaluation des filières du sorgho et du mil au Mali et les implications pour une politique cohérente de développement.419p.
- [13] Kjeldahl, J. (1883). Z. anal. Chem. 22, 366.CrossRefGoogle Scholar
- [14] Koffi E. 1982 : Aperçu sur la culture de trois fourrages : *Brachiaria, panicum* et *stylosanthes* : stage effectué au Service d'Expérimentation Biologie.12 P.
- [15] Lebas F 2017 : Herbe du Congo (*Brachiaria ruziziensis*). Feedipedia, un programme de l'INRAE, du CIRAD, de l'AFZ et de la FAO, 9 P.
- [16] Lebas F, 2009 : Plante tropicales utilisables comme fourrage pour les lapins, 3p.
- [17] Minitab, 2003: Minitab Statistical Software. Data Analysis and Quality Tools, Release 14 for windows. Minitab Inc. State College, Pennsylvania, USA.
- [18] Nantoumé, H., Kouriba, A., Togola, D et Ouologuem, B. 2000. Mesure de la valeur alimentaire de fourrages et de sous-produits utilisés dans l'alimentation des petits ruminants. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux*, 53 : 279-284.
- [19] Penning de Vries, F.W.T. et Djitéye M.A., 1982. La productivité des pâtures sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Research Report. 918, Pudoc, Wageningen.
- [20] Richard D., Guerin H et Fall S.T. 1988. Feeds of the dry tropics. In Jarrige R. Ed., Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables. Paris, France, Inra, p. 325-342.
- [21] Toleba S. S., 2009 : Identification et valeurs nutritionnelles des aliments utilisé en élevage d'aulacodes (*Tryonomysswinderinus*) dans les villes de Cotonou et Porto-Novo au Benin, 10P.
- [22] TOPALL. O. 1995.L'arbre et l'herbe en zone tropicale humide : gestion des pâtures sur une frontière agricole amazonienne.), pp. 260-265. In : « Fertilité du milieu et stratégies paysannes en zone tropicale humide ». Séminaire CIRAD/AGER, Montpellier.
- [23] Torres J.L.R. 2003. Estudo de plantas de cobertura na rotaçāomilho-soja emsistema de plantiodireto no cerrado, na regiāo de Uberaba-MG. Thèse de Doctorat, Université de São Paulo, Jaboticabal SP (Brésil), 108 p
- [24] Yoni M., 1997 : Les jachères à *Andropogon gayanus* en savane soudanienne. Influence du sol et des pratiques culturelles (cas de bondoukuy Burkina Faso) 1 27, 28, 29, 32p.
- [25] PamoT., Boukila B., Tendonkeng F., 2004 : Digestibilité in vitro de *Calliandra calothrysus* en présence du polyéthylène glycol et du *Brachiaria ruziziensis*, *Trypsacum lascum* ou *pennisetum* au Cameroun.16 P.

Perceptions Paysannes du Paquet Technique de Production de Gomme Arabique au Mali

Souleymane Aboubacrine MAÏGA^{1*}, Ousmane KONIPO², Souleymane KOUYATE¹

¹Faculté d’Agronomie et de Médecine Animale, Université de Ségou, Mali,

²Institut de Pédagogie Universitaire, Mali

*soulmaig@gmail.com

RÉSUMÉ : Dans le but d'améliorer la quantité et qualité de gomme arabique produite au Mali, un paquet technique de production de gomme arabique a été disséminé en 2014 par l'Unité de Mise en Œuvre du Cadre Intégré (UMOCI) dans les zones de production du Mali. Ce paquet technique est composé Le paquet technique de production de gomme arabique est composé de variétés d'acacia senegal, d'acacia seyal, de bonnes pratiques/méthodes de saignée, de récolte, de collecte et de traitement (réception et stockage, concassage, tri et calibrage, et emballage). Mais, nous ignorons la perception des producteurs-cueilleurs de cette innovation, alors que cette perception joue un rôle déterminant de son adoption. La présente étude vise à évaluer le niveau de comptabilité de ce paquet technique avec les préférences des producteurs-cueilleurs de production de gomme arabique. Les données ont été collectées dans les communes de Djélébou et Karakoro du cercle de Kayes, auprès de 42 des producteurs-cueilleurs de gomme arabique choisis de façon raisonnée. Les indices de perception agrégés, de demande et d'offre ont permis d'analyser la perception des producteurs-cueilleurs du paquet technique de production de gomme arabique. Le modèle probit ordonné a été utilisé pour déterminer les facteurs socio-économiques influençant la perception générale du paquet technique de production de gomme arabique. Les résultats ont montré que les critères de performance sont les critères les plus importants qui guident les producteurs-cueilleurs dans leur perception sur le paquet technique de production de gomme arabique. Ils ont aussi révélé que le paquet technique de production est en général perçu moins avantageux que les pratiques endogènes en termes d'efficacité et de support technique avec 34% comme indice globale de perception sur le paquet technique de production. Quant aux variables introduites dans le modèle, seulement trois facteurs expliquent la perception des producteurs-cueilleurs. Il s'agit notamment du revenu annuel (significatif à 5%), de la superficie emblavée en gomme arabique et la source majeure de revenu (respectivement significatifs à 10%).

Mots-clés : Paquet technique, Perception, Gomme arabique, Pratiques endogènes, Mali.

I. INTRODUCTION

Les sociologues ont été les premiers à évaluer de manière qualitative le rôle des perceptions de l'innovation dans le processus d'adoption [1]. Les travaux en économie cherchent à approcher l'avantage relatif perçu par l'agriculteur (efficacité, profitabilité, adaptabilité, etc.) dans son contexte de production [2]. Les perceptions sont généralement évaluées sous forme de variables binaires si l'agriculteur perçoit ou non l'intérêt de l'innovation. Les travaux de [3] et [4] montrent que les agriculteurs qui perçoivent l'agriculture de précision plus profitable que leur système actuel, adoptent plus facilement l'innovation. Cependant, si une innovation est perçue comme difficilement adaptable ou peu familière pour l'exploitant elle ne sera pas adoptée [5]. Les perceptions de l'innovation peuvent être modifiées par l'acquisition d'expériences ou d'informations par l'agriculteur et elles sont fortement liées aux perceptions du risque. L'adoption des nouvelles technologies agricoles permettent aux ménages de réduire les contraintes relatives à la production [6]. Le manque de mise en disposition d'informations disponibles sur les performances ou les utilités des innovations technologies aux acteurs

ruraux, amène ceux-ci à évaluer la performance ou l'utilité de ces technologies en fonction de leur expérience et de leurs connaissances. Ils effectuent dès lors, leurs choix en fonction de leur perception de l'innovation et de leurs contraintes propres. Une innovation perçue comme plus risquée par les agriculteurs a donc une probabilité plus faible d'être adoptée [7]. Selon la même source, en fonction de leur contexte de production, les agriculteurs développent des préférences pour certaines caractéristiques de l'innovation. En outres, les performances techniques de l'innovation ne suffisent pas pour justifier sa pertinence et garantir ses chances d'adoption. Selon [8], ce sont les caractéristiques de l'innovation telles qu'elles sont perçues par les individus qui déterminent son taux d'adoption. Les paysans, loin d'être de simples récepteurs de technologie, doivent être considérés comme des acteurs qui, face à leurs conditions endogènes et exogènes, répondent avec patience aux sollicitations des "développeurs" [9]. L'innovation doit par conséquent être perçue comme avantageuse pour être adoptée mais il s'agit bien de perception et non d'avantages "objectifs" puisque les producteurs ne pensent pas en termes techniques comme les

chercheurs [10]. De plus, dans la plupart des études d'adoption réalisées, le facteur le plus souvent omis est la perception qu'a le producteur des caractéristiques de l'innovation qui lui est proposée par la vulgarisation. Or, les quelques études d'adoption ayant abordé cet aspect ont démontré l'influence que les perceptions paysannes des attributs des technologies (qualité nutritive, rendement, coût d'achat, disponibilité, etc.) ont sur la décision des producteurs de les adopter [11]; [12]. Il existe un grand nombre de travaux sur les déterminants de l'adoption d'innovations agricoles, cependant ils ne permettent pas d'isoler des déterminants communs à toutes les situations, en raison notamment de l'hétérogénéité des agriculteurs et des contextes de production [13] ; [14] ; [15]. Il est alors important de connaître les facteurs qui influent sur la décision d'adopter ou non l'innovation [16] tout en tenant compte des perceptions paysannes. Les méthodes d'évaluation des perceptions permettent de quantifier le risque perçu par les exploitants. Ainsi il est possible de pondérer l'effet de ce risque subjectif dans la décision d'adoption [17]; [18]; [19] ; [20]. En parallèle, les méthodes de révélation des préférences, développées dans un premier temps en économie de l'environnement, visent à évaluer le poids de déterminants non observables liés aux préférences dans la décision d'adoption d'innovations [21]; [22]; [23] ; [24].

Cependant, le « Projet de Renforcement des Capacités Productives et Commerciales de la Filière Gomme arabique au Mali (PRCPCFGOM) a été mis en œuvre par l'Unité de Mise en Œuvre du Cadre Intégré (UMOCI) entre 2014-2018. Ce projet promeut le développement des innovations techniques provenant des centres nationaux de spécialisation du Mali et la diffusion des technologies à grande échelle sous forme de paquet technique relatif aux bonnes pratiques de production de gomme arabique. Mais, nous constatons qu'après huit années d'implantation au Mali, rares sont les études ayant porté sur les perceptions de ce paquet technique. En tout cas, la littérature disponible, surtout le contexte malien, n'a pas encore abordé les perceptions des technologies agricoles diffusées par le PRCPCFGOM au Mali. Nous ignorons donc si les perceptions de ces innovations technologiques donnent les mêmes résultats ou différents de ceux de la littérature empirique.

L'objectif de cet article est de présenter, grâce à une revue de littérature, le rôle joué par les perceptions et préférences des producteurs-cueilleurs de gomme arabique pour les caractéristiques du paquet technique de production de gomme arabique dans le processus d'adoption d'innovations en agriculture. Elle vise à contribuer à l'effectivité et à

l'émergence de ces nouvelles innovations, dans un contexte où beaucoup d'innovations développées en Afrique, ne sont pas adaptables aux conditions rurales ou ne corroborent pas souvent aux attentes et aspirations de ceux qui sont espérés les utiliser. Il s'agit d'un manque à gagner si l'on veut s'attaquer au problème de la faible adoption de technologies par les agriculteurs, en particulier dans le maillon de production et améliorer la productivité agricole.

II. METHODOLOGIE

2.1. Cadre conceptuel

2.1.1. Innovations

Le concept d'innovation est très vaste et fait l'objet d'une littérature riche et variée. Proposer une définition de ce concept se révèle une tâche difficile en raison de l'abondance des critères auxquels recourent les auteurs pour le désigner. En langage courant, l'innovation désigne une idée, un procédé nouveau ou encore l'action d'apporter, de créer quelque chose de nouveau. Cependant, le terme économique d'innovation est associé à Joseph Schumpeter, qui évoqua pour la première fois l'innovation est la création d'un nouveau produit ou découverte d'une nouvelle technique de production et l'invention constitue un des processus de l'innovation. [8] définit le concept « innovation » comme une idée, une pratique ou un objet qui est perçu comme nouveau par un individu ou une institution. [25], [26] proposent une définition qui permet de comprendre d'une manière générale le concept d'innovation : « *L'innovation est un processus itératif initié par la conception d'une nouvelle opportunité de marché ou de service pour une innovation technologique conduisant à des activités de développement, de production et de marketing et visant le succès commercial de l'innovation* ».

Cette définition s'intéressant essentiellement à l'innovation technologique, elle peut porter également sur l'organisation ou le marketing. Elle souligne deux critères importants relatifs au concept innovation. Le premier critère correspond à la dimension dynamique dans la mesure où elle résulte d'un processus d'apprentissage interactif qui induit un premier changement lequel provoque souvent d'autres changements qui en entraînent en chaîne [25]. A titre d'exemple, une innovation produit peut provoquer une innovation de procédés, laquelle à son tour peut entraîner une innovation organisationnelle pour mieux utiliser ces procédés. Ce processus peut ainsi se traduire par une première mise en œuvre d'une innovation suivie d'améliorations de cette innovation. Selon le second critère, l'innovation doit être matérialisée voire commercialisable. Nous avons mobilisé la définition du concept de l'innovation de [27] cité par [28] : « mise en application d'un nouveau produit (marchandise ou service) ou d'un

produit ayant subi des améliorations substantielles, ou encore d'un nouveau procédé, d'une nouvelle technique ou d'une nouvelle méthode d'organisation appliquée aux pratiques commerciales, à l'organisation du travail et aux relations extérieures ».

Dans le secteur agricole, l'innovation met en exergue les différentes dimensions techniques, organisationnelles et institutionnelles. Il ne résulte pas forcément de l'introduction d'une nouveauté dans un système. Elle peut reposer sur la complémentarité des ressources existantes au sein d'un système [29]. L'innovation est ainsi assimilée au processus qui met en complémentarité les dimensions techniques, organisationnelles et institutionnelles [30] qui valorisent la multifonctionnalité des éléments. Cette multifonctionnalité pourrait être au centre d'économies de gamme (synergies de complémentarités entre production) dans le système agricole. Elle permettrait potentiellement, en renforçant l'intégration de l'agriculture dans les activités agro-industrielles ou agroartisanales de transformation, de restaurer la compétitivité des productions végétales. Ainsi la mise à disposition des producteurs des technologies efficientes et adaptées a fait partie ces dernières années des préoccupations des chercheurs.

Cependant, la typologie faite par le [31] sur les innovations est de trois sortes : les innovations de type technologique et pratiques innovantes, les innovations de type politique et les innovations de type institutionnel, organisationnel et méthodologique. Notre étude traite des innovations de types technologiques et pratiques innovantes. Il s'agit du paquet technique de production de gomme arabique.

2.1.2. Perceptions paysannes

Les perceptions paysannes sont des jugements portés par le producteur sur les technologies données. Elles sont une évaluation paysanne de la technologie, laquelle peut être aussi bien subjective qu'objective [32]. Le manque d'informations disponibles sur les performances des technologies amène les agriculteurs à évaluer ces systèmes en fonction de leur expérience et de leurs connaissances [7]. Les perceptions paysannes sont alors liées à la connaissance de la technologie. La connaissance dont il s'agit ici, c'est les informations sur la technologie, ses avantages, selon le point de vue du producteur, ses besoins et ses expériences antérieures, point de vue qui n'a forcément rien de subjectif [33]. Cette subjectivité dans la perception de l'innovation peut influencer le processus de décision d'adoption. Plus précisément, l'individu développe des préférences vis-à-vis des caractéristiques de l'innovation (de ses attributs) ce qui lui permet d'hiérarchiser ses choix

[7]. La théorie de [34] est basée sur ce postulat et considère que l'utilité globale d'un produit, correspond à la somme des utilités de chacune des caractéristiques perçues de ce produit. Ce cadre, établi pour l'analyse du comportement du consommateur, est transposé au producteur, l'agriculteur étant considéré comme un consommateur d'innovations agricoles. Les agriculteurs ont des préférences pour certaines caractéristiques de l'innovation qui dépendent de facteurs endogènes ou exogènes : les conditions de production, les contraintes d'exploitation, leurs caractéristiques individuelles, etc. Selon le modèle d'acceptation des technologies dérivé de la théorie de l'action raisonnée, deux types de perception influencent l'acceptation de la technologie : l'utilité et la facilité d'utilisation de la technologie [35]. [36] quant à eux ont identifié quatre regroupant ceux identifiés par [35]. Il s'agit de la performance, la facilité d'utilisation. La performance c'est le degré auquel un individu estime que l'utilisation de la technologie améliorera son bien-être. La facilité d'utilisation est la mesure de la quantité d'effort requise pour utiliser la technologie. Comprendre les perceptions paysannes sur une technologie donnée est très important dans la génération et la diffusion des nouvelles technologies à travers la dissémination de l'information dans les ménages [37].

2.1.3. Déterminants de perception

L'hétérogénéité des agriculteurs et de leur contexte de production explique en partie leur comportement face à l'adoption d'innovations. En fonction des déterminants observables et de leurs croyances, les individus développent des perceptions et des préférences individuelles pour l'innovation et celles-ci ne sont pas directement observables. Pour les révéler, divers travaux mobilisent des méthodologies spécifiques de révélation des préférences. Cependant, parmi ces travaux, peu s'intéressent au rôle des perceptions dans le processus d'adoption [7]. Or les quelques études sur cet aspect ont démontré l'influence que les perceptions paysannes des attributs des technologies proposées (qualité nutritive, rendement, coût d'achat, disponibilité, etc.) ont sur leur décision de les adopter ou non [38]. Les perceptions paysannes de caractéristiques d'une technologie sont alors déterminantes pour leur adoption [11] ; [12].

Les méthodes d'évaluation des perceptions permettent de quantifier le risque perçu par les exploitants. Ainsi, est-il possible de pondérer l'effet de ce risque subjectif dans la décision d'adoption [20]. En parallèle, les méthodes d'évaluation des préférences, développées dans un premier temps en économie de l'environnement, visent à évaluer le poids de déterminants non observables liés aux préférences dans la décision d'adoption

d'innovations [22]. Par ailleurs, la littérature sur les perceptions paysannes dans l'exploitation des comportements d'adoption a utilisé simplement les variables de perceptions dans les modèles d'adoption. Ce faisant les perceptions paysannes des attributs des technologies ne sont pas quantifiées en vue de savoir jusqu'à quel degré un trait particulier d'une technologie intéresse les producteurs et jusqu'à quel niveau telle ou telle caractéristique encourage ou décourage l'adoption. Ce qui permet de mesurer la satisfaction que les technologies proposées par les services de recherche et de vulgarisation procurent aux producteurs. Dans ce sens, [39] se sont basés sur l'approche empirique d'analyse de la perception appliquée par [40]. Il s'agit de l'utilisation des indices relativement simples qui permettent de mesurer le degré avec lequel une caractéristique donnée d'une technologie satisfait les attentes des producteurs qui ressentent un problème, une contrainte ; ce qui crée une demande. D'un autre côté, la recherche et la vulgarisation proposent une offre de technologie qui sera évaluée par les paysans. Le comportement d'adoption des paysans résulte donc du degré de compatibilité entre les perceptions paysannes des caractéristiques des technologies introduites et celles des technologies demandées ou recherchées. Ainsi, cette approche utilise trois indices que sont :

- L'indice de demande qui correspond à l'importance que les paysans accordent à un critère donné dans l'utilisation/adoption de la technologie ;
- L'indice d'offre qui correspond à la valeur que les producteurs attribuent pour un critère donné en prenant la technologie proposée ;
- L'indice de réalisation qui montre jusqu'à quel degré les caractéristiques de la technologie arrivent à satisfaire la demande des producteurs. Ce troisième indice confronte donc l'offre à la demande en donnant une mesure du niveau de satisfaction que les paysans trouvent, pour la caractéristique considérée.

En outre, d'autres études ont utilisé une approche d'analyse comparative des perceptions paysannes par rapport aux pratiques courantes [41] ; [38] ; [42]. Il s'agit de l'indice de perception. La perception sur la technologie par rapport aux pratiques courantes est recueillie suivant une échelle de Likert qui varie entre 1 et 5 (1 étant pas du tout d'accord et 5 fortement d'accord par rapport à un scénario donné mettant en comparaison la technologie et la pratique courante). Cet indice de perception global est basé sur l'agrégation des scores de l'échelle de Likert. Cette mesure agrégée de la perception des producteurs sur les attributs considérés est utilisée comme un indicateur de l'attitude du producteur vers l'adoption. [43] quant à eux ont utilisé une autre approche d'analyse de perception pour comparer des variétés

hybrides chinoises de maïs introduites et les variétés locales. Il s'agit de l'indice d'appréciation comparatif (IAC). Cet indice est calculé pour chaque enquêté et est déterminé par la différence entre le score donné à la variété introduite et le score donné à la variété locale pour chaque caractéristique évaluée. Si l'indice est supérieur à 0 pour une variable donnée, cela implique que la variable proposée est appréciée par rapport à la variété locale.

Dans le cadre de cette étude, la méthode de [40] est utilisée pour évaluer la compatibilité de la technique de production par rapport aux besoins des producteurs et l'indice de perception agrégé est utilisé pour comparer la technique de production du lait de soja stabilisé et disséminée par ProSAM aux pratiques endogènes.

2.2. Cadre théorique

2.2.1. Zone d'étude et échantillonnage et données

Située à 618 km au nord-ouest de la capitale Bamako, la région de Kayes est choisie de façon raisonnée comme la zone d'étude de cette thèse. Le choix de cette région se justifie par le fait qu'elle constitue naturellement la zone où la filière gomme arabique est la plus développée. Elle constitue la plus grande zone production de gomme arabique par excellence au Mali, surtout la gomme de première qualité qui est le Grade 1, l'*acacia senegal*. Pour la campagne 2016, la production régionale en gomme arabique a atteint 2 323,125 tonnes, soit 75% de la production nationale [44]. Dans la région de Kayes, c'est le cercle de Kayes qui a été choisi pour la réalisation de cette étude. C'est cette zone qui regorge les plus grandes communes de production de gomme arabique, surtout de la première qualité (gomme dure ou l'*acacia senegal*). C'est ainsi que les communes de Djélébou et Karakoro sont retenues dans le cadre de cette étude (figure 1). La commune de Karakoro produit uniquement la première qualité de gomme, alors que celle de Djélébou produit toutes les deux qualités (gomme dure et friable). C'est dans la commune de Karakoro où y a plus d'investissement en termes d'infrastructure. En effet, les coopératives de cette commune ont été dotées des magasins de conservation de la gomme arabique pour mieux tirer profit de la vente de celle-ci.

Quant aux données, elles ont été collectées auprès de 42 producteurs-cueilleurs choisis de façon raisonnée. En effet, sur les différentes listes de membres des sociétés coopératives de producteurs fournies par leurs leaders, il se trouve que la majorité de ces membres ont déserté leurs coopératives respectives dans toutes les deux communes concernées par cette étude. Ainsi, ceux qui restent membres sont ceux à qui nos questionnaires ont été adressés. Ils sont repartis entre quatre sociétés coopératives de

producteurs-cueilleurs de gomme arabique (tableau 1). Ces sociétés coopératives de producteurs-cueilleurs de gomme arabique, à qui nos questionnaires sont administrés, mises en place par l'UMOCI dans le cadre la redynamisation de la filière gomme arabique en 2014. Pour analyser les données, une maquette de saisie des données a été conçue avec le tableur Microsoft Office Excel où l'ensemble des informations recueillies sont saisies et ordonnées. Puis, elles ont été transférées dans les logiciels SPSS version 23.0 pour leur analyse, et le traitement de texte a été réalisé avec le logiciel WORD 2013.

Tableau 1 : Répartition des enquêtés selon la localité

Sociétés coopératives de producteurs-cueilleurs de gomme arabique	Communes	
	Djélébou	Karakoro
Dagamé Kafo	15	-
Kaoural	07	-
Demadé Kafo	-	14
Sondonbané	-	06
Total	22	20

Source: Auteur (Enquête 2022, 2023)

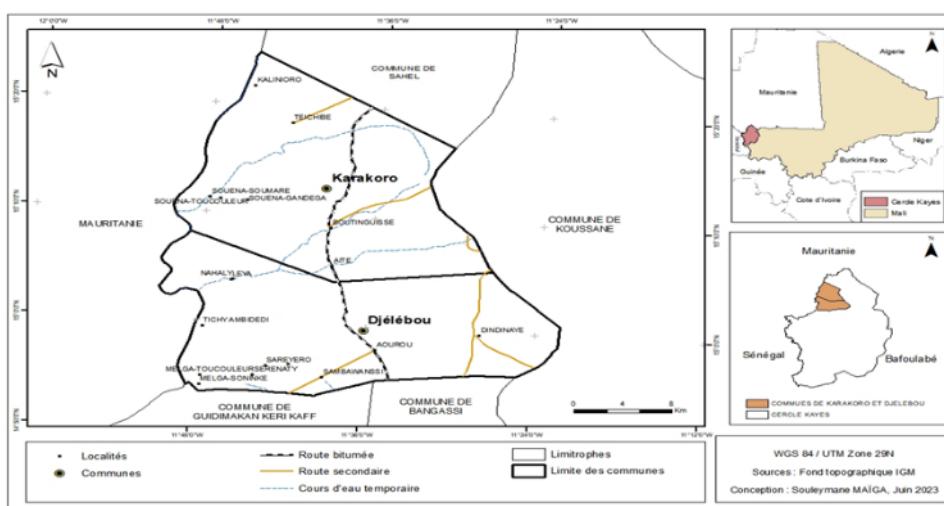


Figure 1: Carte des communes de Karakoro et Djélébou

2.3. Modèles empiriques

2.3.1. Identification et hiérarchisation des critères d'appréciation du paquet technique de production de gomme arabique

La phase exploratoire conduite et la littérature consultée ont permis d'identifier et de définir auprès des producteurs/cueilleurs de gomme seize (16) critères de choix du paquet technique pour évaluer son adéquation avec leurs besoins. Il s'agit, en premier lieu des critères de **performance**, qui regroupent : l'efficacité³, l'efficience (coût de réalisation des opérations techniques), la qualité, la quantité de main-d'œuvre à mobiliser, le temps de réalisation (économie de temps) et l'accès au marché. Ensuite, les critères de **facilité d'utilisation** incluent : la simplicité de réalisation/utilisation, la simplicité de l'apprentissage et la simplicité de transfert. Enfin, les critères de la **pression sociale** telles que l'influence de personnes clés, l'influence de la communauté, et les critères relatifs au **support externe** comme l'accès au support technique, l'accès au support matériel, les barrières d'utilisation et le niveau de connaissance nécessaire [35]; [36] ; [42].

Le test de concordance de Kendall permettra de hiérarchiser les critères identifiés qui sont en même temps les caractéristiques de l'innovation produisant pour chacun des critères un rang moyen. Le principe est que le critère ayant reçu le rang moyen le plus faible vient en première position ainsi de suite pour tous les autres critères. Aussi, la concordance du point de vue des producteurs/cueilleurs de gomme a été testée afin de vérifier si le classement des éléments est homogène au sein de l'échantillon. En effet, c'est le coefficient W de Kendall qui est utilisé pour évaluer le degré d'accord entre les producteurs/cueilleurs de gomme en matière de classement des critères. Etant compris entre 0 et 1, ce coefficient indique un degré d'accord élevé lorsqu'il est proche de 1. Selon [45], le degré d'accord est élevé pour W=0,7 et acceptable à partir de W=0,5.

2.3.2. Evaluation du paquet technique de production par les producteurs-cueilleurs

Le paquet technique de production de gomme arabique est essentiellement évalué par les producteurs-cueilleurs de gomme qui l'ont utilisé au

³ Efficacité : rendement obtenu.

moins une fois. L'approche empirique d'analyse des perceptions développée par [46] puis appliquée par [40] et [39] a permis d'analyser la perception des producteurs/cueilleurs de gomme.

En effet, cette approche consiste à confronter l'offre et la demande du paquet technique de production de gomme arabique. Elle utilise des indices simples permettant de mesurer le degré auquel certaines caractéristiques précises d'un paquet technique sont compatibles avec les préférences des producteurs/cueilleurs. Ainsi, trois indices seront calculés. Le premier indice est l'indice de demande (D) du paquet technique qui mesure la préférence producteurs/cueilleurs pour un critère donné. Cet indice correspond à l'importance que les producteurs/cueilleurs accordent à un critère donné. Le second indice, l'indice d'offre (S) du paquet technique qui mesure comment ce critère est perçu par l'enquêtée. Le troisième indice confronte l'offre à la demande : c'est l'indice de réalisation (W). Il donne une mesure du niveau de satisfaction que les producteurs/cueilleurs trouvent, pour un critère considéré, dans le paquet technique qui leur est proposé. La valeur maximale des trois indices est 1.

l'indice de demande prend sa valeur maximale 1, lorsque tous les producteurs/cueilleurs pensent que le critère considéré est très important dans l'appréciation du paquet technique.

L'illustration de cette approche est présentée dans les tableaux 5 et 6. Dans le cadre de cette étude, 16 critères sont définis pour le paquet technique de production de gomme arabique. Ainsi, chaque enquêté a évalué chaque critère suivant la demande et l'offre ayant chacun trois attributs. Alors, pour chaque critère considéré, chaque producteur/cueilleur de gomme indique si le paquet technique qui lui est proposé est très important, important ou pas important pour la demande et très bon, acceptable et mauvais pour l'offre. En considérant l'ensemble des enquêtés, et pour un critère donné, la matrice des réponses définie par le tableau 2 est obtenue.

Chaque élément de la matrice, représente le nombre des producteurs/cueilleurs de gomme qui ont classé le critère particulier en fonction de leur perception de son importance, j , et de leur satisfaction au regard de

la qualité fournie i , par ce même critère. Les éléments de la rangée du bas, représentent le nombre total des producteurs/cueilleurs qui ont classé la caractéristique en fonction de son importance. Les éléments de la colonne à l'extrême droite, représentent le nombre total des producteurs/cueilleurs qui ont classé la caractéristique comme étant incarnée avec un certain niveau de satisfaction. N est le nombre total d'enquêtés. Compte tenu de ce qui précède, les éléments suivants doivent être respectés :

$$\sum c_j = \sum r_i = \sum * \sum n_{ij} = N \quad (1)$$

La matrice de pondération définie par le tableau 3 a été utilisée pour l'estimation des indices. La dernière colonne du tableau représente les poids de l'offre, qui correspondent aux poids attribués aux perceptions paysannes sur le paquet technique qui leur est proposé. La dernière ligne du tableau indique les poids de la demande, assignés aux perceptions paysannes de l'importance du critère considéré pour le paquet technique. Chaque élément de la matrice est obtenu de la manière suivante :

$$w_{ij} = s_i d_j \quad (2)$$

[46] ont proposé d'imposer certaines conditions aux poids, de sorte que les inégalités suivantes soient valables :

$$w_{1j} > w_{2j} > w_{3j} \quad \text{pour tous les } j \quad (3)$$

L'inégalité ci-dessus implique que, quelle que soit l'importance d'un attribut/critère, plus le producteur/cueilleur le perçoit favorablement comme étant présent dans le paquet technique évalué, plus son poids est élevé.

Tableau 2: Matrice des réponses pour un critère donné

	TI	I	MI	Total
TB	n_{11}	n_{12}	n_{13}	r_1
A	n_{21}	n_{22}	n_{23}	r_2
M	n_{31}	n_{32}	n_{33}	r_3
Total	c_1	c_2	c_3	N

Source : [40]

$$r_1 = n_{11} + n_{12} + n_{13}; c_1 = n_{11} + n_{21} + n_{31}$$

TI : très important ; I : important ; MI : moins important ; TB : très bon ; A : acceptable ; M : mauvais.

Tableau 3: Matrice de pondération

	Très important	Important	Moins important	Poids de l'offre
Très bon	w_{11}	w_{12}	w_{13}	s_1
Bon	w_{21}	w_{22}	w_{23}	s_2
Mauvais	w_{31}	w_{32}	w_{33}	s_3
Poids de la demande	d_1	d_2	d_3	

Source : [40]

$$w_{i1} > w_{i2} > w_{i3} > 0 \quad \text{pour tous les } i \quad (4)$$

L'inégalité (4) stipule que, chaque fois qu'un

attribut incorporé dans un paquet technique est jugé bon ou meilleur, le poids doit être positif et augmenté en mesure que son niveau d'importance augmente.

$$w_{i1} < w_{i2} < w_{i3} < 0 \quad \text{pour tout ce qui est classé mauvais} \quad (5)$$

L'inégalité (5) implique que les pondérations pour les attributs/caractéristiques considérées comme faibles doivent être négatives et décroissantes en mesure que leur importance augmente. Les inégalités ci-dessus impliquent les restrictions suivantes lors de la construction des pondérations de l'offre et de la demande. En d'autres termes, les poids assignés à la demande et à l'offre sont choisis de manière à respecter les conditions suivantes :

$$s_1 > s_2 > 0 > s_3; \quad (6)$$

$$d_1 > d_2 > d_3 > 0 \quad (7)$$

Ces conditions imposées aux poids choisis ont permis également de vérifier les restrictions

$$w_{1j} > w_{2j} > w_{3j} \text{ pour tous les } j \text{ et}$$

$$w_{i1} > w_{i2} > w_{i3} > 0 \quad \text{pour tous les } i, \text{ dans la matrice de pondération ci-dessus.}$$

Au total, tous les poids de la demande, d_j , doivent être positifs, tandis que le poids est négatif pour l'offre lors que le producteur-cueilleur pense après évaluation que le paquet technique est mauvais pour le critère considéré. A partir de la matrice de pondération et de la matrice des réponses, les trois indices se présentent comme suit :

Indice de demande

$$D = \frac{1}{d_1 N} \sum_{j=1}^3 d_j c_j$$

L'indice de la demande (D) correspond à l'importance que les paysans accordent à un critère donné. Il prend la valeur maximale (1), lorsque tous les producteurs/cueilleurs pensent que le critère considéré est très important. Sa valeur minimale est déterminée par le rapport $(d_3/d_1) > 0$.

Indice de l'offre

$$S = \frac{1}{s_1 N} \sum_{i=1}^3 s_i r_i$$

Cet indice (S) permet de savoir à quel degré une caractéristique ou un critère donné est pris en compte dans le paquet technique. Elle prend sa valeur maximale (1), lorsque tous les producteurs/cueilleurs de gomme pensent que le paquet technique est d'une très bonne qualité pour le critère considéré. La valeur minimale de cet indice est $(s_3/s_1) < 0$, et est obtenue lorsque tous les paysans pensent que le critère considéré pour le paquet technique est mauvais.

Indice de réalisation

$$W = \frac{1}{w_{11} N} \sum_{j=1}^3 * \sum_{i=1}^3 w_{ij} n_{ij}$$

L'indice de réalisation confronte l'offre à la demande et permet d'évaluer jusqu'à quel degré les caractéristiques du paquet technique sont compatibles avec les préférences des producteurs/cueilleurs de gomme. Elle prend la valeur 1, qui est sa maximale, lorsqu'il y a une parfaite correspondance. Autrement dit, dans une telle situation, tous les producteurs/cueilleurs de gomme pensent que le critère considéré est très important pour elles et que le paquet technique vulgarisé est très bon pour ce même critère. La valeur minimale de cet indice est $(s_3/s_1) < 0$.

2.3.3. Evaluation comparative du paquet technique de production de gomme arabique par rapport aux pratiques endogènes

L'indice de perception globale (IPG) a été estimé pour comparer les perceptions entre le paquet technique et les pratiques endogènes. [41]; [42] ont supposé que, chaque caractéristique du paquet technique peut être mesurée par les producteurs en tenant compte de ce qu'ils attendent de ce paquet technique. Selon ces auteurs, cet indice de perception est basé sur une agrégation de l'échelle de Likert. Cet indice de perception (IP) est construit à l'aide d'une procédure simple en deux étapes. Un ensemble de 16 critères/attributs spécifiques ont été présentés aux répondants qui ont été invités à révéler leur opinion sur chacun de ces attributs (E_j) par rapport aux pratiques endogènes. Une valeur de 1 est attribuée à chacun des attributs lorsque le producteur/cueilleur reconnaît l'importance de l'attribut considéré et 0 sinon. La sélection de ces attributs est basée sur des discussions de groupe ciblées avec les producteurs/cueilleurs au cours d'une phase exploratoire avant l'administration du questionnaire structuré. A l'étape suivante, il a été demandé aux producteurs/cueilleurs de gomme de révéler l'importance relative à chaque attribut sur une échelle de cinq (Rm). Un score de 1 est attribué pour la moindre importance et 5 pour une très grande importance. Ces scores ont été ensuite convertis en scores pondérés (Wq). Un poids de 0,2 est attribué pour le score le plus bas, 1, et un poids, 1, pour le score le plus élevé, 5 (annexe 1). Un poids nul est attribué aux attributs pour lesquels le producteur/cueilleur de gomme ne reconnaît pas l'importance de l'attribut. Le (IP) de chaque producteur/cueilleur de gomme est calculé en faisant la somme des scores pondérés de l'attribut du paquet technique de production.

L'indice de perception agrégé sur l'ensemble des critères pour chaque enquêté est ainsi calculé par la formule suivante [41] ; [42] :

$$IP_i = \sum_{j=1}^J * \sum_{m=0}^M * \sum_{q=0}^Q E_j R_m W_q$$

Avec j=1.....J ; m=0.....M,
q=0.....Q

E_j : représente la valeur (1 ou 0) attribuée à chaque caractéristique ou critère j à évaluer.

R_m : est le score attribué à chaque caractéristique à travers l'échelle de Likert allant de 1 à 5.

W_q : est le poids attribué à chaque score, 0,2 étant pour le rang le plus faible (1) et 1 pour le rang le plus

élevé (5), (tableau 4).

L'indice de perception agrégé (général) pour l'échantillon est alors calculé par la formule suivante [41] : $IPG_i = IP_i/N$, Où N représente le total de critères/attributs.

Lorsque l'indice calculé a au moins une valeur de 0,60, cela indique que le paquet technique est préféré aux pratiques endogènes. Cependant, lorsqu'il est compris entre 0,50 et 0,59, il indique que les deux procurent la même satisfaction. Au-dessous 0,50, les pratiques endogènes sont préférées au paquet technique.

Tableau 4 : Détermination de l'indice perception agrégé de la technique de production du lait stabilisé de soja par rapport aux pratiques endogènes

Opinion sur le j ième critère	D'accord					
	0	1	2	3	4	5
Valeur du critère (Ej)	0	1	2	3	4	5
Score attribué à chaque critère sur une échelle de cinq points (Rm)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Interprétation du score	Aucun	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Poids attribué à chaque score (Wq)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Indice de Perception Agrégé pour chaque enquêté (IPA)	$\sum_{j=1}^{11} * \sum_{m=0}^5 * \sum_{q=0}^1 E_j R_m W_q, \quad \forall j = 1,2,\dots,16; m = 0,1,\dots,5; q = 0, 0,2, \dots, 1$					
Indice de Perception agrégé (global) sur la technique de production (IPG)	$\frac{IPA}{N}$,	où N = 16 (total de critères)				

Adapté de [41]

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Perceptions des producteurs-cueilleurs par rapport à leur satisfaction du paquet technique de production de gomme arabique

Les conditions d'inégalités (6) et (7) avec quatre ensembles de pondérations ont été utilisées pour calculer les indices de demande, d'offre et de réalisation et la robustesse des résultats vérifiés. Lesdits quatre ensembles utilisés dans le calcul des indices étaient : $s^A(3, 1, -2)$ et $d^A(4, 2, 1)$; $s^B(2, 1, -1)$ et $d^B(5, 3, 1)$; $s^C(3, 1, -1)$ et $d^C(3, 2, 1)$; et $s^D(1, 0, -1)$ et $d^D(5, 2, 1)$. Cependant, seize (16) critères ont permis d'analyser la perception des productrices du paquet technique. Les trois indices utilisés par [40]

définis plus haut ont été déterminés et les résultats sont présentés dans le tableau 5. L'indice de demande montre que les critères les plus importants auxquels les transformatrices font recours pour apprécier le paquet technique de production de gomme arabique sont : l'accès au marché d'écoulement de la production, l'efficacité/rendement de gomme arabique, la qualité de gomme arabique récoltée, la main d'œuvre à mobiliser, le niveau de connaissance nécessaire, le contact avec les services de vulgarisation, l'accès au support technique, l'efficience/coût relatif aux opérations de production et l'économie du temps relatif aux opérations de production de gomme arabique.

Tableau 5: Indice de demande, d'offre et de réalisation du paquet technique de production de gomme arabique

Critères	Indice de demande	Indice d'offre	Indice de réalisation
Accès au marché d'écoulement de la production	1	0,70	1
Efficacité/rendement de gomme arabique	1	-0,50	-1
Qualité de gomme arabique	0,99	0,57	1
Main d'œuvre à mobiliser	0,99	-0,45	-0,89
Niveau de connaissance nécessaire	0,98	0,15	0,30
Contact avec les services de vulgarisation	0,96	0,08	0,14
Accès au support technique	0,95	0,05	0,14
Efficience/coût relatif aux opérations de production	0,93	-0,45	-0,85
Economie du temps relatif aux opérations de production	0,92	-0,41	-0,82
Simplicité d'utilisation du paquet technique de production	0,76	0,50	0,76
Simplicité d'apprentissage du paquet technique de production	0,76	0,50	0,76
Simplicité de transfert du paquet technique de production	0,73	0,50	0,68
Accès au support matériel	0,70	-0,05	0,03
Barrières d'utilisation du paquet technique de production	0,60	0,50	0,58
Influence de la communauté	0,60	0,50	0,59
Influence des personnes clés	0,59	0,50	0,60
N=42			

Source : Auteur (Enquêtes 2022 ; 2023)

L'analyse de perception paysanne à travers l'indice de l'offre (tableau 5) montre que les producteurs-cueilleurs estiment que le paquet technique de production de gomme arabique est très efficace en termes de qualité de gomme produite, l'accès au marché d'écoulement est bon, l'utilisation, l'apprentissage et le transfert du paquet technique de production de gomme arabique sont simples. Cependant, l'efficacité/rendement de gomme arabique, la main d'œuvre à mobiliser, l'efficience/coût relatif aux opérations de production, l'économie du temps et l'accès au support matériel (outils de saignée et de récolte) sont des critères qui sont négativement perçus par les producteurs-cueilleurs en ce qui concerne ce paquet technique de production de gomme arabique. Il convient d'attirer l'attention sur certains critères non moins importants que les précédents, mais dont les indices sont très faibles. Il s'agit du niveau de connaissance nécessaire, de contact avec les services de vulgarisation et d'accès au support technique (formations/démonstration). Mais jusqu'à quel degré le paquet technique de production de gomme arabique satisfait la demande des producteurs-cueilleurs ? A quel degré est-il compatible avec leurs besoins ? La perception relative à ce degré de satisfaction a été analysée par l'indice de réalisation présenté dans le tableau 5. Ce paquet technique remplit deux parmi les neuf les plus importants critères de choix énumérés par les producteurs-cueilleurs. Il s'agit notamment de l'accès au marché d'écoulement et la qualité de gomme récolté. Cependant, quatre parmi les sept critères restants de neuf critères les plus importants ne sont pas remplis par le paquet technique de production. Il s'agit de l'efficacité/rendement de gomme arabique, de la main d'œuvre à mobiliser, de l'efficience/coût relatif aux opérations de production et de l'économie du temps de réalisation des opérations de production de gomme arabique. En effet, les indices respectifs de ces critères sont (-1), (-0,89), (-0,85) et (-0,82). Par ailleurs, le paquet technique de production de gomme arabique remplit d'autres critères importants tels que la simplicité d'utilisation, d'apprentissage et de transfert, l'influence de communauté, de personnes clés et des barrières d'utilisation du paquet technique. Quant au niveau de connaissance nécessaire (0,30), le contact avec les services de vulgarisation (0,14), l'accès au support technique (0,14) et au support matériel (0,03), ils ont aussi respectivement des faibles indices de réalisation.

En effet, le rendement obtenu avec les nouvelles techniques de saignée est moins élevé que celui obtenu avec pratiques endogènes. Selon les producteurs-cueilleurs enquêtés, avec ces pratiques endogènes, le rendement est plus abondant mais ne permettent pas à l'arbre d'avoir une longévité, contrairement aux nouvelles techniques de saignée.

Cela s'explique par le fait que les gommiers qui sont actuellement exploités par les enquêtés sont des vieilles régénérations naturelles dont certaines ont dépassé l'âge d'abondance de production. Il faut donc aller au-delà des mesures indiquées par les nouvelles techniques de saignée (30cm de longueur et 3cm de largeur) et autre outil de saignée telle la hache pour espérer un bon rendement. Nous comprenons à travers cette perception que malgré leur conscience de conséquences, à long terme, de pratiques endogènes de saignée sur les gommiers, les producteurs-cueilleurs sont plus motivés par le rendement obtenu par celles-ci. Cette motivation se justifie par le fait que l'accès au marché d'écoulement de la gomme arabique est facile, car la totalité des enquêtés soit 100% estiment que l'accès au marché de vente de la gomme arabique est facile. Ainsi, le paquet technique de production de gomme arabique demande plus de main d'œuvre, du temps et de coût de réalisation des opérations qui y sont liées.

Eu égard à ces résultats, le paquet technique de production de gomme arabique ne remplit pas donc tous les seize (16) critères retenus pour son évaluation. Cette innovation n'est pas la seule pour laquelle les producteurs jugent que certains critères considérés ne satisfont pas leurs attentes. Nos résultats confirment ceux de (2010) [38] qui, dans leur étude de perception sur les extraits de plantes et biopesticides, ont montré que les critères les plus importants qui limitent les agriculteurs dans l'utilisation des technologies sont relatifs à la performance et à la facilité d'utilisation de la technologie (efficacité, nombre de traitements, facilité de préparation). Nos résultats rejoignent également ceux de [39] bien que leurs travaux soient orientés vers les variétés améliorées d'igname. En effet, ils ont trouvé que les principales raisons sur lesquelles se basent les producteurs pour adopter ces variétés sont relatives à la performance de ces variétés (rendement, grosseur de la variété, goût, précocité de la production, aptitude à la transformation). Les résultats de [40] sur les variétés améliorées de riz confortent ceux des deux précédentes études. Qu'il s'agisse d'une variété, d'une pratique ou d'une méthode de lutte, les avis convergent sur la question des caractéristiques sur lesquelles se basent les producteurs dans le choix de technologie. Cependant, au-delà de la performance, d'autres critères non moins importants que les précédents pèsent dans la balance en ce qui concerne l'appréciation du paquet technique de production de gomme arabique. Il s'agit de l'accès au support technique (7,49) tels que l'information et la formation, le niveau de connaissance nécessaire (8,45) et le contact avec les services de vulgarisation (8,55) qui constituent les conditions de facilitation d'utilisation du paquet technique de production de gomme arabique.

3.2. Evaluation comparative du paquet technique aux pratiques endogènes

3.2.1. Indice de perception simple

Pour connaître la perception du paquet technique de production par rapport aux pratiques endogènes, l'indice de perception a été calculé puis présenté dans le tableau 6. En se basant sur les critères les plus importants dans l'appréciation du paquet technique de production de gomme arabique précédemment énumérés, il ressort des analyses que les critères tels la qualité de gomme arabique et l'accès au marché d'écoulement ont respectivement les indices les plus élevés (0,65 et 0,64). Ainsi, ils constituent les premiers critères sur lesquels les producteurs-cueilleurs ont jugé ce paquet technique comme étant plus avantageux que les pratiques endogènes. Considérant les indices des critères tels le contact avec la vulgarisation (0,58), la simplicité d'utilisation (0,56) et la simplicité d'apprentissage et de transfert (0,55), le paquet technique de production de gomme arabique procure la même utilité que les pratiques endogènes. Pour les autres indices des critères

comme l'accès au support matériel (0,45), l'accès au support technique (0,29), et l'efficacité/rendement, l'efficience/coût, la main d'œuvre, l'économie du temps, l'influence des personnes clés et celle de la communauté qui ont un indice nul, les pratiques endogènes sont perçues plus avantageuses que le paquet technique de production de gomme arabique.

En effet, la section précédente avait déjà permis de ressortir les critères cités ci-dessus comme n'étant pas prise en compte dans le paquet technique de production de gomme arabique. Dans ce cas, les producteurs-cueilleurs perçoivent les pratiques endogènes plus avantageuses pour eux considérant lesdits critères. Les pratiques endogènes ne prennent pas autant de coût relatif à l'accès aux outils de saignée, de récolte, de tri et de nettoyage de gomme récoltée avant sa vente. Cependant, les producteurs-cueilleurs reconnaissent la bonne qualité de gomme arabique obtenue avec le paquet technique de production et que son écoulement sur le marché est également facile.

Tableau 6: Perception des producteurs-cueilleurs sur le paquet technique de production de gomme arabique comparé aux pratiques endogènes

Critères	Indice de perception		
	Moy	Stdev	Rang
Qualité de gomme arabique	0,65	0,09	1
Accès au marché d'écoulement de la production	0,64	0,10	2
Niveau de connaissance nécessaire	0,61	0,18	3
Barrières d'utilisation du paquet technique de production	0,61	0,11	4
Contact avec les services de vulgarisation	0,58	0,16	5
Simplicité d'utilisation du paquet technique de production de gomme arabique	0,56	0,08	6
Simplicité d'apprentissage du paquet technique de production de gomme arabique	0,55	0,09	7
Simplicité de transfert du paquet technique de production de gomme arabique	0,55	0,09	8
Accès au support matériel	0,45	0,19	9
Accès au support technique	0,29	0,26	10
Efficacité/rendement de gomme arabique	0	0	11
Efficience/coût relatif aux opérations de production	0	0	12
Main d'œuvre à mobiliser	0	0	13
Economie du temps relatif aux opérations de production de gomme arabique	0	0	14
Influence des personnes clés	0	0	15
Influence de la communauté	0	0	16
N=42			

Source : Auteur (Enquête 2022 ; 2023)

3.2.2. Indice de perception globale

En agrégeant les critères d'appréciation du paquet technique de production de gomme arabique selon ses attributs, le tableau 7 montre que pour les attributs comme la facilité d'utilisation et le support externe dont les indices sont supérieurs à 0,50, soient respectivement 0,56 et 0,51, le paquet technique de production de gomme arabique est perçu plus avantageux que les pratiques endogènes. Par contre, pour les attributs dont les indices sont inférieurs à 0,50 ou nuls tels que la performance (0,22) et la pression sociale, les producteurs-cueilleurs enquêtés perçoivent le paquet technique de production de gomme arabique moins avantageux que les pratiques endogènes. Par ailleurs, l'indice de perception

globale est de 0,34. Cet indice, étant inférieur à 0,50 pour l'échantillon, indique que le paquet technique de production de gomme arabique est de façon générale moins avantageux que les pratiques endogènes.

Eu égard à l'analyse de l'indice de demande, d'offre et de réalisation du paquet technique de production de gomme arabique, les résultats affirment que le paquet technique ne remplit pas donc tous les seize critères retenus pour son évaluation. Cette innovation n'est pas la seule pour laquelle les producteurs jugent que certains critères considérés ne satisfont pas leurs attentes. Ainsi, nos résultats corroborent ceux de [39], sur les variétés améliorées d'igname, et [40] sur les variétés améliorées de riz.

Ce sont entre autres des innovations pour lesquelles seulement quelques caractéristiques (de performances) notamment le rendement et les

Tableau 7: Perception globale des producteurs-cueilleurs sur le paquet technique de production de gomme arabique comparé aux pratiques endogènes

Perception globale	Moyenne	Stdev
Performance	0,22	0,03
Facilité d'utilisation	0,56	0,09
Pression sociale	0	0
Support externe	0,51	0,18
Indice de perception globale	0,34	0,06
N=40		

Source: Auteur (Enquête 2022; 2023)

En outre, les producteurs-cueilleurs ont été catégorisés selon leur perception, afin de comparer le paquet technique de production de gomme arabique aux pratiques endogènes. A cet effet, le tableau 8 présente la répartition des producteurs-cueilleurs à travers les groupes et leur indice de perception globale. Les résultats du tableau 8 montrent que tous les producteurs-cueilleurs soient 100% perçoivent le paquet technique de production de gomme arabique comme étant moins avantageux que les pratiques endogènes. Il s'agit des producteurs-cueilleurs du groupe (2) qui affirment que les pratiques endogènes sont meilleures que le paquet technique de production

Tableau 8: Répartition des producteurs-cueilleurs à travers les groupes et leur perception globale du paquet technique de production de gomme arabique par rapport aux pratiques endogènes

Perception globale	Groupe	%	Perception globale
Procure une utilité plus grande que les pratiques endogènes	1	0	0
Procure une utilité moins grande que les pratiques endogènes	2	100	0,34
Procure la même utilité que les pratiques endogènes	3	0	0
Total		100	
N=42			

Source: Auteur (Enquête 2022; 2023)

aptitudes aux transformations sont jugés parfaitement pris en compte donc satisfaisant leur demande.

Tableau 7: Perception globale des producteurs-cueilleurs sur le paquet technique de production de gomme arabique comparé aux pratiques endogènes

de gomme arabique. Par conséquent, nos résultats ne sont pas en adéquation avec ceux de [42] sur l'innovation « eco-friendly net ». En effet, dans cette étude, les agriculteurs du groupe (1) sont minoritaires par rapport à ceux du (3) qui sont majoritaires suivis de ceux du groupe (2). Contrairement aux résultats du tableau (7), les recherches de [42] révèlent que c'est la facilité d'utilisation qui n'est pas prioritaire dans les trois groupes tandis que le support externe est prioritaire pour le groupe 2.

IV. CONCLUSION

La présente étude s'est intéressée à la Perceptions paysannes du paquet technique de production de gomme arabique vulgarisé au Mali. L'approche empirique d'analyse des perceptions a permis d'analyser le niveau d'adéquation du paquet technique de production de gomme arabique avec les préférences des producteurs-cueilleurs. Cette approche consiste à confronter l'offre et la demande du paquet technique de production. Quant à l'analyse comparative entre le paquet technique de production de gomme arabique et les pratiques endogènes, elle a consisté en la détermination de l'indice global de perception basé sur une agrégation de l'échelle de Likert. Les résultats ont révélé que ce paquet technique de production de gomme arabique vulgarisé au Mali n'est totalement compatible avec les préférences des producteurs-cueilleurs. De façon générale avec l'indice global de perception calculé

(34%), le paquet technique de production de gomme arabique disséminé est perçu moins avantageux que les pratiques endogènes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Kivlin, J. E., Fliegel, F. C. (1967). Differential perceptions of innovations and rate of adoption. *Rural Sociology*, 32(1), 78-91.
- [2]. Adesina, A. A., Zinnah, M. M. (1993). Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics*, 9(4), 297-311.
- [3] Pandit, M., Mishra, A. K., Paudel, K. P., Larkin, S. L., Rejesus, R. M., Lambert, D. M., English, B. C., Larson, J. A., Velandia, M. M., Roberts, R. K., Kotsiri, S. (2011). *Reasons for Adopting Precision Farming: A Case Study of US Cotton Farmers*. 2011 Annual Meeting, February 5-8, 2011, Corpus Christi, Texas, *Southern Agricultural Economics Association*, 24p.
- [4] Paudel, K. P., Pandit, M., Mishra, A. K., Segarra, E. (2011).

- Why Don't Farmers Adopt Precision Farming Technologies in Cotton Production?* 2011 Annual Meeting, July 24-26, 2011, Pittsburgh, Pennsylvania, *Agricultural and Applied Economics Association*, 22p.
- [5] Gillespie, J., Kim, S., Paudel, K. P. (2007). Why don't producers adopt best management practices? An analysis of the beef cattle industry. *Agricultural Economics*, 36(1), 89-102.
- [6] Adétonah, S. (2005). Genre, production et commercialisation de légumes sains en zones urbaine et péri-urbaine en Afrique de l'ouest : cas du Bénin, Togo et Ghana. Protocole de thèse de Doctorat, *Université de Lomé, Togo*, 90 p.
- [7] Roussy, C., Ridier, A., Chaib, K. (2015). Adoption d'innovations par les agriculteurs : rôle des perceptions et des préférences. Working Paper 15 (3), Toulouse, France: SMART-LEREKO, INRA, 35p.
- [8] Rogers E. M. (1983). Diffusion of innovations. Third edition. New York. The free press.
- [9] Adégbidi, A. B. E. A. (1992). Les déterminants socio-économiques de l'adoption de technologies nouvelles : Cas du maïs sélectionné dans le département de l'Atacora en République du Bénin. Thèse de Doctorat, CIRES, *Faculté des Sciences Économiques, Université Nationale de Côte-d'Ivoire, Côte-d'Ivoire*.
- [10] Chambers, R., Pacey, A. et Thrupp, L. A. (1994). Les Paysans d'abord. Les innovations des paysans et la recherche agronomique, *Karthala, Paris*. 231p.
- [11] Adesina, A. A. et Zinnah, M. M. (1992). Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics*, 9, 297-311.
- [12] Adesina, A. A. et Baidu-Forson, J. (1996). Farmers' perceptions and adoption of new agricultural technology: evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, *West Africa. Agricultural Economics* 13, 1-9.
- [13] Baumgart-Getz, A., Prokopy, L. S., Floress, K. (2012). Why farmers adopt best management practice in the United States: A meta-analysis of the adoption literature. *Journal of environmental management*, 96(1), 17-25.
- [14] Knowler, D., Bradshaw, B. (2007). Farmers adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, 32(1), 25-48.
- [15] Prokopy, L. S., Floress, K., Klothor-Weinkauf, D., Baumgart-Getz, A. (2008). Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63(5), 300-311.
- [16] Van Den Ban, Hawkins H., Brouwers J. et Boon, C. (1994). La Vulgarisation Rurale en Afrique. Karthala, Paris, 373p.
- [17] Machina, M. J., Schmeidler, D. (1992). A More Robust Definition of Subjective Probability. *Econometrica*, 60(4), 745-780.
- [18] Nelson, R. G., Bessler, D. A. (1989). Subjective Probabilities and Scoring Rules: Experimental Evidence. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(2), 363-369.
- [19] Norris, P. E., Kramer, R. A. (1990). The elicitation of subjective probabilities with applications in agricultural economics. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 58(2-3), 127-147.
- [20] Smith, J. et Mandac, A. M. (1995). Subjective versus objective yield distributions as measures of production risk. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(1), 152-161.
- [21] Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M., Louviere, J. (1998). Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(1), 64-75.
- [22] Asrat, S., Yesuf, M., Carlsson, F. et Wale, E. (2010). Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics*, 69(12), 2394-2401.
- [23] Hanley, N., Mourato, S., Wright, R. E. (2001). Choice Modelling Approaches: A Superior Alternative for Environmental Valuation? *Journal of Economic Surveys*, 15(3), 435-462.
- [24] Louviere, J. J., Hensher, D. A., Swait, J. D. (2000). *Stated choice methods: analysis and applications*, Cambridge University Press, 420p.
- [25] Wissal, B. F. (2014). Partage des connaissances : Articulation entre management de l'innovation et management des connaissances cas des plateformes d'innovation d'un groupe leader du secteur agroalimentaire en Tunisie. Thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, université de Grenoble, 350p.
- [26] Garcia, R. et Calantone, R. (2002). A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. *Journal of product innovation management*, 19(2), 110-132.
- [27] OCDE (2005). Manuel d'Oslo : principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation, 3e édition. Oslo, Norvège : Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). [2019/05/20]. <http://www.oecd.org/innovation>.
- [28] Amel, B., Karima, B., Foued, C., Mehdi, B., Ahmed, M. (2020). Facteurs influençant l'adoption de l'innovation en agriculture en Algérie. Cas de deux cultures stratégiques : le blé dur et la pomme de terre. *Cahiers Agricultures*, EDP Sciences, 29, pp.1-10. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020013>
- [29] Temple, L., Levesque, A., Lamour, A., Daphnee, C., Bracq, S. (2017). Complémentarité des filières sorgho sucré et canne à sucre en Haïti : évaluation des conditions de développement sectoriel d'une innovation. *Cahiers Agricultures*, 26 (5), 55006, 9 p. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017046>
- [30] Touzard, J. M., Temple, L., Fauré, G., Triomphe, B. (2014). Systèmes d'innovation et communautés de connaissances dans le secteur agricole et agroalimentaire. *Innovations* 43, 13 - 38. <https://doi.org/10.3917/inno.043.0013>
- [31] FIDA (2008). Innovation/stratégie. 34 p.
- [32] Maboudou, A. G. (2003). Adoption et diffusion de technologies améliorées de stockage du maïs en milieu paysan dans le Centre et le Nord du Bénin. Mémoire d'obtention du Diplôme d'Etude Approfondie (DEA), *Université de Lomé*, 108p.
- [33] Meijer, S. S., Catacutan, D., Ajayi, C. O., Sileshi, G. W., et Nieuwenhuis, M. (2015). The role of knowledge, attitudes and perceptions in the uptake of agricultural and agroforestry innovations among smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 1(13), 40 - 54. <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2014.912493>
- [34] Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. The Journal of Political Economy, 74 (2), 132-157.
- [35] Davis, F. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *Quarterly, MIS*, 13(3), 319-40.
- [36] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, B. et Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27, 425-478.
- [37] Ochiengo, J. T. (2014). Influence of communication on adoption of agricultural innovation: a case of the system of rice intensification in Mwea irrigation scheme. A Research Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

- for the Award of the Degree of Master of Arts in Communication Studies, *School of Journalism at the University of Nairobi*, 79p.
- [38] Adékambi, S. A., Adegbola, P. Y., Arouna, A. (2010). Farmers' perception and agricultural technology adoption. The case of botanical extracts and biopesticides in vegetable production in Benin. PAPA-INRAB, *Porto-Novo, Benin*, 22p.
- [39] Adégbola, P. Y. et Adékambi, S. A. (2008). Taux et déterminants de l'adoption des variétés améliorées d'igname développées par l'IITA. Rapport d'étude, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), Programme Analyse de la Politique Agricole (PAPA), *Bénin, Porto-Novo*, 31p.
- [40] Sall, S., Norman, D. et Featherstone, A. M. (2000). Quantitative assessment of improved rice variety adoption: the farmer's perspective. *Agricultural Systems*, 66, 129-144.
- [41] Rahman, S. (2003). Environmental impacts of modern agricultural technology diffusion in Bangladesh: An analysis of farmers' perceptions and their determinants. *Journal of Environmental Management*, 68, 183–191.
- [42] Vidogbéna, F., Adégbidi, A. B. E. A., Tossou, R., Assogba-
- Komlan, F., Martin, T., Ngouajio, M., Simon, S., Parrot, L., Garnett, S. T. et Zander, K. K. (2015). Exploring factors that shape small-scale farmers' opinions on the adoption of eco-friendly nets for vegetable production. Springer Science + Business Media Dordrecht, 22p.
- [43] Dedehouanou, H., Affokpon, A., Akissoe, N., Yallou, C. G., Sikirou, R., Ahounou, J. L., Akonde, F. X. et Badou, A. (2015). Caractérisation perceptive des Variétés hybrides chinoises du maïs : la sélectivité sensorielle est-elle déterminante au Bénin ? *European Scientific Journal edition* 30 (11), 23p.
- [44] UMOCI (2018). Table ronde : l'économie de la gomme arabique en Afrique, La gomme arabique du Mali. Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement, Genève, 18p.
- [45] Schmidt-Roy, C. (1997). Managing Delphi surveys using Nonparametric Statistical Techniques, *Decision Science*, 28(3), 763-774.
- [46] Reed, G. V., Binks, M. R., Ennew, C. T. (1991). Matching the characteristics of a service to the preferences of customers. *Managerial and Decision Economics* 12, 231-240.

Analyse des Déterminants de l'Adoption du Paquet Technique de Production de Gomme Arabique au Mali

Souleymane Aboubacrine MAÏGA^{1*}, Souleymane KOUYATE¹, Ousmane KONIPO²

¹Faculté d'Agronomie et de Médecine Animale, Université de Ségou, Mali,

²Institut de Pédagogie Universitaire, Mali

* soulmaig@gmail.com

RESUME : Des bonnes pratiques de production de gomme arabique ont été vulgarisées au Mali sous forme de paquet technique composé de variétés d'*acacia senegal*, d'*acacia seyal*, de bonnes pratiques/méthodes de saignée, de récolte, de collecte et de traitement : réception et stockage, concassage, tri et calibrage, et emballage). Mais, de 2014 à nos jours, rares sont les études ayant été menées sur leur adoption. Dans le but d'appréhender les facteurs déterminant l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique au Mali, une enquête a été réalisée auprès de 42 producteurs/cueilleurs de gomme arabique choisis de façon raisonnée dans les communes de Djélébou et de Karakoro du cercle de Kayes à l'aide de questionnaires suivi des entretiens et des focus group. Le modèle logit binomial a été utilisé pour déterminer les variables influençant l'adoption du paquet technique. Nos résultats ont montré que le modèle est globalement significatif au seuil de 5%, et que les variables explicatives incluses dans le modèle expliquent à 72,13% la variation de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique. Parmi ces variables, seulement quatre influencent positivement cette adoption. Il s'agit notamment de l'âge, de l'expérience du producteur/cueilleur, de la superficie emblavée et du revenu tiré de la production/cueillette de la gomme arabique. Cependant, le paquet technique est partiellement adopté. Ceci remet en question le modèle linéaire d'innovation et interpelle la recherche et la vulgarisation agricoles pour des propositions techniques qui optimisent la diversité et l'hétérogénéité des savoirs locaux de production.

Mots-clés : *Paquet technique, Adoption, Gomme arabique, Logit binomial, Mali.*

INTRODUCTION

L'adoption des nouvelles technologies agricoles permettent aux ménages de réduire les contraintes relatives à la production [1]. Le manque de mise en disposition d'informations disponibles sur les performances ou les utilités des innovations technologies aux acteurs ruraux, amène ceux-ci à évaluer la performance ou l'utilité de ces technologies en fonction de leur expérience et de leurs connaissances. Ils effectuent dès lors, leurs choix en fonction de leur perception de l'innovation et de leurs contraintes propres. Une innovation perçue comme plus risquée par les agriculteurs a donc une probabilité plus faible d'être adoptée [2]. En outre, les performances techniques de l'innovation ne suffisent pas pour justifier sa pertinence et garantir ses chances d'adoption. Selon [3], ce sont les caractéristiques de l'innovation telles qu'elles sont perçues par les individus qui déterminent son taux d'adoption. Les paysans, loin d'être de simples récepteurs de technologie doivent être considérés comme des acteurs qui, face à leurs conditions endogènes et exogènes, répondent avec patience aux sollicitations des "développeurs" [4]. L'innovation doit par conséquent être perçue comme avantageuse pour être adoptée, mais il s'agit bien de perception et non d'avantages "objectifs" puisque les producteurs ne pensent pas en termes techniques comme les chercheurs [5]. De plus, dans la plupart des études d'adoption réalisées, le facteur le plus souvent omis est la perception qu'a le producteur des caractéristiques de l'innovation qui lui est proposée

par la vulgarisation. Or, les quelques études d'adoption ayant abordé cet aspect ont démontré l'influence que les perceptions paysannes des attributs des technologies (qualité nutritive, rendement, coût d'achat, disponibilité, etc.) ont sur la décision des producteurs de les adopter [6] ; [7]. Il existe un grand nombre de travaux sur les déterminants de l'adoption d'innovations agricoles, cependant ils ne permettent pas d'isoler des déterminants communs à toutes les situations, en raison notamment de l'hétérogénéité des agriculteurs et des contextes de production [8]. Il est alors important de connaître les facteurs qui influent sur la décision d'adopter ou non l'innovation [9] tout en tenant compte des perceptions paysannes.

L'adoption des innovations agricoles découle d'un processus complexe caractérisé par une interdépendance de plusieurs facteurs liés non seulement à la disponibilité de l'innovation, son accessibilité et son potentiel économique mais aussi aux caractéristiques propres aux exploitants ainsi que leur environnement socio-économique, technique et institutionnel [10]. Les travaux en économie sur l'adoption des technologies montrent que les décisions des agriculteurs sont influencées par des multiples facteurs endogènes ou exogènes (observables et non observables directement) et les caractéristiques intrinsèques de la technologie [10]; [2]. L'analyse économique de l'adoption des technologies agricoles s'est concentrée sur l'information imparfaite, le risque, l'incertitude, les contraintes institutionnelles, le capital humain, la

disponibilité d'inputs, et l'infrastructure en tant qu'explications potentielles pour des décisions d'adoption [11] ; [12] ; [13]. Cependant, pour [14] ; cité par [13], les déterminants majeurs du changement technologique sont des variables économiques et qui ne changent pas de façon signifiante d'une région à l'autre.

Cependant, le « Projet de Renforcement des Capacités Productives et Commerciales de la Filière Gomme arabique au Mali (PRCPCFGOM) a été mis en œuvre par l'Unité de Mise en Œuvre du Cadre Intégré (UMOCI) entre 2014-2018. Ce projet promeut le développement des innovations techniques provenant des centres nationaux de spécialisation du Mali et la diffusion des technologies à grande échelle sous forme de paquet technique relatif aux bonnes pratiques de production de gomme arabique. Mais, nous constatons qu'après huit années d'implantation au Mali, rares sont les études ayant porté sur l'adoption de ce paquet technique. En tout cas, la littérature disponible, surtout le contexte malien, n'a pas encore abordé l'adoption des technologies agricoles diffusées par le PRCPCFGOM au Mali. Nous ignorons donc si les facteurs de l'adoption et l'impact de ces innovations technologiques donnent les mêmes résultats ou différents de ceux de la littérature empirique.

Compte tenu de ce qui précède, la question à laquelle nous tenterons de répondre dans cet article est la suivante : quels sont les déterminants de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique au Mali ? Ainsi, cet article a pour objectif d'analyser les déterminants de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique vulgarisé au Mali.

METHODOLOGIE

Revue de littérature

Cadre conceptuel

Adoption d'une innovation

Selon [3], l'innovation se définit comme une idée, des pratiques ou des objets perçus comme nouveaux dans la société. Selon [9], on parle d'adoption d'une innovation, lorsqu'un individu passe de l'état de la connaissance initiale de l'innovation à la décision de l'accepter, de la pratiquer ou de la rejeter. Dans le secteur agricole, elle se conçoit comme l'introduction d'une pratique agricole nouvelle, parfois une modification d'une pratique traditionnelle [15]. Dans le cadre de cette étude, il est retenu la définition de [16] qui voit l'innovation comme une nouvelle idée, une méthode pratique ou techniques permettant d'accroître de manière durable la productivité et le revenu agricole. Cette définition est bien en phase avec les objectifs de production et la perception des producteurs agricoles sur l'innovation qui ne pensent pas en termes techniques comme les chercheurs [5]. En effet, les producteurs agricoles prennent connaissance de

l'innovation, rassemblent des informations sur elle ce qui leur permet de découvrir non seulement ses avantages mais aussi ses inconvénients. Ils se font de ce fait leur propre idée sur l'innovation qui peut à la fin de ce processus être acceptée ou rejetée. Cette décision d'accepter ou de rejeter l'innovation est désignée par le thème « adoption » [5]. L'adoption d'une innovation est le processus mental par lequel un individu passe de la première information à propos de l'innovation à son adoption finale [3]. Cette définition rejoint celle de [9] qui définissent l'adoption comme un processus mental qui commence depuis le premier contact de l'individu avec l'innovation, jusqu'à l'étape de rejet ou d'acceptation. A partir de cette définition les chercheurs ont conceptualisé l'adoption comme étant un processus qui se produit dans le temps et qui consiste en une série d'actions. [3] a distingué cinq phases dans cette série : i) la connaissance qui est la phase d'information ; ii) la phase d'intérêt où l'individu développe une envie active à avoir plus d'information sur l'innovation ; iii) la phase d'évaluation où l'individu compare l'innovation aux pratiques existantes, à ses exigences et à sa situation actuelle ; iv) la phase d'expérimentation où l'individu essaie l'innovation à petite échelle pour voir de façon pratique ses performances ; v) la phase d'adoption où l'individu utilise de façon continue et à grande échelle l'innovation avec satisfaction. Selon [17], il existe deux principales phases pour l'adoption d'une technologie : l'initiation qui regroupe les trois premières phases de l'adoption selon Rogers et l'implémentation qui regroupe les deux dernières. Il faut souligner que l'adoption varie en fonction des types d'innovations. En effet, les innovations agricoles sont majoritairement des paquets technologiques qui regroupent plusieurs technologies complémentaires [2]. L'adoption d'une innovation fait référence à la décision de mise en œuvre de propositions techniques nouvelles dans un système de production et d'améliorer leur utilisation de manière croissante [9]. Elle dépend des caractéristiques socio-économiques des potentiels adoptants, des informations qu'ils reçoivent et de comment ils les utilisent [18] ; [3], de la structure et de la nature des échanges qu'ils ont avec leurs réseaux sociaux, de leurs interactions avec les institutions qui accompagnent les transferts d'innovations notamment la vulgarisation agricole [19] ; [20] ; [3] ; [21]. Elle dépend aussi de la compatibilité des caractéristiques des innovations à l'environnement institutionnel (normes, règles, valeurs), technologique (systèmes techniques existants, savoir-faire, risques), et économique (accessibilité des facteurs de production nécessaires) des potentiels adoptants et de la perception que ceux-ci ont des caractéristiques des innovations qui leur sont proposées et des conséquences de ces innovations sur l'amélioration de leur niveau de vie [22] ; [3]).

Facteurs déterminants l'adoption d'une innovation

Les travaux en économie sur l'adoption focalisent sur les déterminants qui expliquent la décision, le délai et la progressivité de l'adoption [23]. « En économie, pour aborder la question de l'adoption, une littérature empirique et économétrique doit principalement être mobilisée sur les déterminants de l'adoption d'innovations agricoles, et on entendra par adoption, dans cette revue de littérature, la décision dichotomique d'adoption (adoption/rejet) » [2]. Selon [3], ce sont les caractéristiques de l'innovation telles que perçues par les individus, qui déterminent son adoption. Alors, il énumère cinq critères d'adoption notamment : les avantages perçus, la compatibilité technique-valeurs. Dans le même sens, [24] définit cinq attributs qui caractérisent une innovation : son avantage relatif, sa compatibilité avec les valeurs du groupe d'appartenance, sa complexité, la possibilité de la tester, et sa visibilité. En effet, les facteurs susceptibles d'influencer l'adoption d'une technologie agricole sont les facteurs propres au producteur, les facteurs liés à la technologie, les facteurs institutionnels et les facteurs biophysiques. En réalité, toutes s'accordent sur l'influence des facteurs socio-économiques, institutionnels, techniques et organisationnels dans l'adoption d'un paquet technologique [1]. [25] puis [26] distinguent quatre groupes des facteurs qui sont susceptibles d'influencer l'adoption d'une technologie. Il s'agit des facteurs propres aux producteurs, des facteurs liés à la technologie, des facteurs institutionnels liés au marché des facteurs de production et à l'information et les caractéristiques de la parcelle devant recevoir la technologie. Ces facteurs peuvent être décrits de la manière suivante :

- les facteurs liés au producteur regroupent le niveau d'éducation de l'exploitant, son expérience en agriculture, son âge, son genre, son niveau de richesse [25] ;
- les facteurs liés à la technologie incluent les fonctions économiques et alimentaires du produit, la complexité de la technologie, le coût relatif de l'innovation par rapport aux innovations « substituts », la disponibilité permanente de l'innovation et les intrants qui lui sont associés et la perception des bénéficiaires sur les caractéristiques de l'innovation ;
- quant aux facteurs institutionnels, ils regroupent l'accès au crédit, la disponibilité et l'accessibilité des marchés des produits et des facteurs, la disponibilité et la qualité de l'information sur les technologies ;
- enfin, les caractéristiques de la parcelle concernent la nature du sol, son niveau de fertilité avant l'adoption de la technologie, le climat.

D'après [27], la superficie emblavée diminue l'intensité de l'adoption. Par ailleurs, [28] ont trouvé que les grandes emblavures des champs de niébé affectaient négativement l'utilisation d'une technologie agricole relative au niébé. La variable taille de l'exploitation est aussi un facteur déterminant de l'innovation. [29] a montré qu'il n'y a pas une relation claire entre la taille de la firme et l'adoption des innovations, et que le taux de diffusion des innovations n'est pas toujours plus important parmi les firmes de grande taille. La littérature théorique et empirique sur l'adoption de la technologie a montré que la taille d'une entreprise joue un rôle important quant à la décision d'adopter de nouvelles technologies [30]. La taille des exploitations est un des premiers critères mis en évidence par la littérature pour expliquer les décisions individuelles d'adoption technologique [11] ; [31] cités par ([13]). Comme autres freins à l'adoption, il convient de retenir les contraintes financières et l'intensité dans le travail [32] ; [33], [34] mais aussi la difficulté d'accès aux marchés [28].

La revue de la littérature a montré que l'adoption d'une technologie agricole dépend de plusieurs facteurs tels que la perception que l'agriculteur a des caractéristiques de l'innovation par rapport à la technologie traditionnelle [7] ; [35] ; l'attitude de l'agriculteur face au risque [36] ; [37] ; les facteurs sociaux tels que l'âge du producteur, son niveau d'alphabétisation, son expérience dans l'activité [38] ; [39] ; les facteurs institutionnels tels que la formation et encadrement agricoles, accès au crédit, appartenance à un groupement coopératif [37] ; [39] et les prix et revenu agricoles [37] ; [11] ; [40] ; [41] ; [42] ; [43] ; [44] cités par [41].

D'autres études distinguent deux catégories de variables qui influencent l'adoption des technologies. Il s'agit des variables extrinsèques qui sont des déterminants observables et des variables intrinsèques qui sont non observables regroupant la perception, la connaissance et l'attitude [10] ; [45] ; [7]. Les observations directes permettent de mieux comprendre le niveau de connaissance, les attitudes et la perception des agriculteurs vis-à-vis des techniques innovantes vulgarisées [46] ; [47]. De plus, il existe des interactions entre les déterminants non directement observables et les déterminants observables propres à l'exploitant et à son exploitation [48]. L'âge est un facteur important qui influe sur la probabilité d'adopter de nouvelles technologies car il est considéré comme une caractéristique latente essentielle dans les décisions d'adoption. Cependant, il existe une controverse sur la direction de l'effet de l'âge sur l'adoption. On a constaté que l'âge influençait positivement l'adoption du sorgho au Burkina Faso [49]. En revanche, il a été constaté que l'âge était soit corrélé négativement avec l'adoption, soit insignifiant dans

les décisions d'adoption des agriculteurs. Dans les études sur l'adoption des pratiques de conservation des terres au Niger, l'âge n'était pas significatif ou avait une relation négative avec l'adoption [37]. [50] estiment que l'âge réduit l'adoption, car les exploitants plus âgés ont un horizon de planification plus court. Ils valorisent moins les bénéfices à long terme de certaines innovations. Cependant, les jeunes exploitants sont souvent soumis à des contraintes financières fortes, ce qui peut les dissuader d'investir dans une nouvelle technologie. Enfin, en présence d'un successeur, l'âge de l'exploitant accroît les chances d'adoption d'une innovation. En effet, si une possibilité de reprise de l'exploitation existe, alors l'horizon de planification de l'agriculteur est plus long [51]. Selon [52], les jeunes agriculteurs ont plus de chance d'être instruits et ont des taux d'actualisation moins élevés et peuvent par conséquent tirer un rendement plus élevé de l'investissement réalisé dans l'acquisition des technologies. Pour [53], l'adoption de nouvelles technologies exige un certain niveau de risque associé à la décision du choix des technologies. Les jeunes producteurs sont enclins à prendre plus de risque que les producteurs plus âgés. Le niveau d'éducation de l'exploitant est généralement reconnu comme favorisant l'adoption d'innovations intensives en capital humain [50]. Malgré que certains travaux ne trouvent pas de relations significatives entre l'éducation et l'adoption, on peut considérer que les exploitants les plus éduqués disposent de plus d'informations leur permettant de mieux évaluer l'innovation et ainsi de limiter leur niveau d'incertitude [8]. Le niveau d'instruction peut être une variable déterminante dans l'adoption des innovations. Il accroît le sens de l'innovation, l'habileté et la facilité d'apprécier les nouvelles technologies [54]; [22] ; cité par [13], et la capacité de compréhension de l'information concernant la nouvelle technologie [55] ; [13]. Les producteurs de niveau d'instruction plus élevé sont les adoptants potentiels [11]. Les connaissances des producteurs de gomme arabique jouent un rôle important pour expliquer leur comportement économique et leurs décisions d'investissements. Ainsi, la variable relative aux ressources financières de l'exploitant "coût de l'investissement", au contraire des précédentes, peut freiner l'adoption de nouvelles technologies. [56] cité par [13], a montré que, pour l'adoption d'une innovation, plus les investissements requis sont importants, plus son taux d'adoption est lent et plus son taux de diffusion est faible. [13] a montré que qu'il existe une relation négative entre les coûts d'adoption des innovations et le taux d'adoption. Il souligne que, pour l'adoption d'une innovation, plus les coûts d'adoption sont faibles, plus le taux de l'adoption plus est élevé. Contrairement à l'éducation, et par extension à l'information, le rôle de l'expérience est moins clair. Certaines études montrent le rôle positif de

l'expérience sur l'adoption [57]. Les travaux de [58] montrent que les agriculteurs expérimentés connaissent mieux leur contexte de production et peuvent prendre plus de risques.

Le contexte informationnel constitue un des déterminants exogènes qui sont partiellement contrôlables par l'exploitant. Ce contexte informationnel à la fois formel (visites des conseillers des chambres d'Agriculture, informations des centres techniques) et informel (réseaux de producteurs, forum, etc.) a un effet sur l'adoption d'innovations [48]. Selon [59] cité par [13], l'adoption d'une nouvelle pratique agricole suppose que l'utilisateur a toute l'information sur la technologie et ses potentialités. L'encadrement des producteurs affecterait l'adoption des technologies. Un producteur encadré et suivi par le service de vulgarisation finit par changer de décision en faveur de la nouvelle technologie [3]. Le rôle de l'information dans la réduction des incertitudes et des erreurs de répartition dans le processus d'adoption des technologies a fait l'objet de nombreuses études [55] ; [11] ; [13]. En conséquence, le rôle des services de vulgarisation dans la diffusion des informations est un facteur qui peut influencer positivement l'adoption des paquets techniques de production de gomme arabique. [8] utilisent différents indicateurs pour évaluer le niveau d'information des agriculteurs : nombres de visites de conseillers agricoles, d'essais, de visites d'essais. Par rapport à la coopération (entre organisations), [56] montrent que la prise en compte de la coopération entre les agriculteurs permet de mieux expliquer le comportement d'adoption. "L'adhésion à l'association des producteurs de gomme arabique" peut influencer positivement ou négativement la prise de décision d'adoption de paquets techniques. La pratique d'associations semble fonder la différence dans le comportement des agriculteurs vis-à-vis de l'innovation. L'appartenance à une organisation de producteur permet au producteur d'avoir une idée sur les avantages et inconvénients d'une technologie. L'accès à l'information affecterait la perception du risque par le producteur. Une connaissance suffisante sur la technologie permet aux producteurs d'optimiser leurs processus de prise de décision [13]. Donc, l'acquisition d'informations et expériences réduit l'incertitude et permet aux agriculteurs de percevoir de manière plus objective l'innovation et les risques encourus.

Cadre théorique

Zone d'étude et échantillonnage et données

Située à 618 km au nord-ouest de la capitale Bamako, la région de Kayes est choisie de façon raisonnée comme la zone d'étude de cette thèse. Le choix de cette région se justifie par le fait qu'elle constitue naturellement la zone où la filière gomme arabique est la plus développée. Elle constitue la plus

grande zone production de gomme arabique par excellence au Mali, surtout la gomme de première qualité qui est le Grade 1, l'*acacia senegal*. Pour la campagne 2016, la production régionale en gomme arabique a atteint 2 323,125 tonnes, soient 75% de la production nationale [60]. Dans la région de Kayes, c'est le cercle de Kayes qui a été choisi pour la réalisation de cette étude. C'est cette zone qui regorge les plus grandes communes de production de gomme arabique, surtout de la première qualité (gomme dure ou l'*acacia senegal*). C'est ainsi que les communes de Djélébou et Karakoro sont retenues dans le cadre de cette étude (figure 1). La commune de Karakoro produit uniquement la première qualité de gomme, alors que celle de Djélébou produit toutes les deux qualités (gomme dure et friable). C'est dans la commune de Karakoro où y a plus d'investissement en termes d'infrastructure. En effet, les coopératives de cette commune ont été dotées des magasins de conservation de la gomme arabique pour mieux tirer profit de la vente de celle-ci.

Quant aux données, elles ont été collectées auprès de 42 producteurs-cueilleurs choisis de façon raisonnée. En effet, sur les différentes listes de membres des sociétés coopératives de producteurs fournies par leurs leaders, il se trouve que la majorité de ces

membres ont déserté leurs coopératives respectives dans toutes les deux communes concernées par cette étude. Ainsi, ceux qui restent membres sont ceux à qui nos questionnaires ont été adressés. Ils sont repartis entre quatre sociétés coopératives de producteurs-cueilleurs de gomme arabique (tableau 1). Ces sociétés coopératives de producteurs-cueilleurs de gomme arabique, à qui nos questionnaires sont administrés, mises en place par l'UMOCA dans le cadre la redynamisation de la filière gomme arabique en 2014. Pour analyser les données, une maquette de saisie des données a été conçue avec le tableur Microsoft Office Excel où l'ensemble des informations recueillies sont saisies et ordonnées. Puis, elles ont été transférées dans les logiciels SPSS version 23.0 pour leur analyse, et le traitement de texte a été réalisé avec le logiciel WORD 2013.

Tableau 1 : Répartition des enquêtés selon la localité

Sociétés coopératives de producteurs-cueilleurs de gomme arabique	Communes Djélébou	Communes Karakoro
Dagamé Kafo	15	-
Kaoural	07	-
Demadé Kafo	-	14
Sondonbané	-	06
Total	22	20

Source: Auteur (Enquête 2022, 2023)

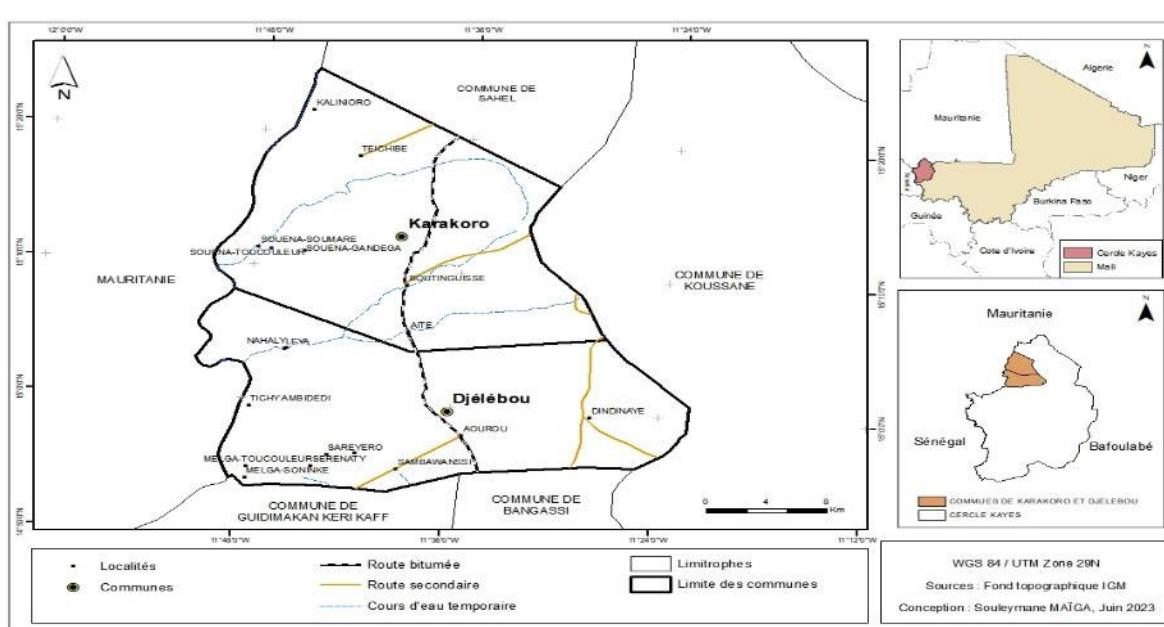


Figure 1: Carte des communes de Karakoro et Djélébou
Approches empiriques : spécification des modèles économétriques d'analyse de l'adoption et les facteurs déterminants de l'adoption

L'analyse de l'adoption des technologies est basée sur le principe de rationalité des agents économiques et particulièrement l'hypothèse de maximisation de l'utilité. Selon [61], le comportement rationnel du

producteur le conduit à adopter une innovation technologique qui lui procure plus d'utilité. Diverses études aussi bien théoriques qu'empiriques ont abordé la question de l'adoption ou choix de technologies agricoles. Du point de vue empirique, plusieurs méthodes d'analyse ont été appliquées. Certaines études, utilisant des tables contingentes de Khi-Deux, ont été entreprises pour effectuer des tests

non paramétriques sur l'importance de certaines variables explicatives dans l'adoption des innovations technologiques. Bien que les résultats de ces tests puissent suggérer des liens significatifs, il est tout à fait difficile de capter l'importance des phénomènes économiques à travers ces analyses [25]. D'autres études examinent les relations entre les facteurs affectant l'adoption, ont utilisé l'analyse des corrélations. Cette approche souffre du fait que de simples corrélations entre quelques variables peuvent être hautement influencées par d'autres variables, de sorte que chacune renferme les faux effets des autres variables [25]. Des analyses économétriques utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires ont souvent été utilisées. Les problèmes d'hétéroscédasticité générés par cette approche ont mis en exergue l'invalidité des tests réalisés sur la base de ces méthodes.

Récemment des méthodes robustes explorant l'effet des variables indépendantes sur les variables dépendantes qu'elles soient dichotomiques ou polytomiques ont été développées. Dans cette catégorie, les modèles probit, logit et tobit sont les plus usuels dans la spécification des relations entre la probabilité d'adoption et les déterminants de celle-ci. Plusieurs études empiriques ont déjà utilisé cette méthode [6]; [62]; [61]; [63]; [64]; [65]; [66]; [67]; [68]. Certaines études sont relatives à l'adoption d'innovations comme les bonnes pratiques [6]; [62]. Mais, la difficulté majeure reste au niveau du choix du modèle de régression approprié. C'est d'abord la nature continue ou discontinue des variables qui déterminent le choix du modèle de régression [69].

Le modèle Tobit ou modèle de régression à variable dépendante limitée s'utilise lorsque nous avons des informations sur l'adoption ou non d'une innovation et mieux, si nous avons des informations sur le niveau d'utilisation de l'innovation. De plus, il fait appel à des calculs mathématiques assez complexes [70]. Pour ces raisons, ce modèle d'analyse n'a pas été utilisé dans le cadre de cette étude. Les modèles Probit et Logit sont plus appropriés pour analyser les variables dépendantes binaires. Le choix entre les deux formes (Probit et Logit) est souvent difficile car ils ont des caractéristiques proches [71]. Il faut toutefois noter une différence majeure entre ces deux modèles. En effet, le modèle Logit se base sur la loi logistique de distribution de probabilité tandis que le modèle Probit se base sur la loi normale. [72]; [73] et [68] sont arrivés à la conclusion que les modèles Probit et Logit conduisent à des résultats identiques et la base de choix entre les deux est limitée. Selon [74] et [71], en dépit de différence entre les coefficients estimés, les modèles Probit et Logit peuvent se substituer car elles conduisent aux mêmes recommandations. Dès lors, il n'y a pas de raison persuasive de choisir l'un plutôt que l'autre. Pratiquement, beaucoup de chercheurs adoptent le modèle logit parce qu'il est mathématiquement plus

simple. Selon [75], [76] et [77], le modèle Logit est le plus utilisé pour des analyses des déterminants d'adoption des technologies car il est plus approprié dans la spécification de la relation entre les variables dépendante et variables indépendantes et sa fonction de distribution plus facile à utiliser que celle du modèle Probit.

Une invention ou un paquet technique peut être qualifié d'innovation quand il conduit à modifier un système de production de manière significative et durable. L'adoption d'une innovation peut de manière conventionnelle être modélisée comme un choix entre deux alternatives : adopter ou ne pas adopter. En réalité, le processus d'adoption est plus complexe : l'adoption peut être partielle, d'intensité variable, temporaire.

L'évaluation de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique se résume à la mesure de l'influence des facteurs d'ordre socioéconomique et institutionnel. Elle a été faite à partir de la régression logistique binaire [78]; [75]; [63]; [65]; [66]; [67]; [79]. En d'autres termes, nous cherchons les variables socioéconomiques et institutionnelles qui réduisent ou augmentent la probabilité de décider d'adopter le paquet technique de production de gomme arabique. A cet effet, les outils d'analyse les plus appropriées sont ceux de la régression logistique dichotomique. En effet, la régression logistique binaire s'applique aux variables dépendantes qui prennent deux modalités (oui ou non, vrai ou faux, etc.). Ici, la variable dépendante est le paquet technique de production de gomme arabique.

Au regard de ce qui précède sur les modèles d'analyse de l'adoption et les facteurs déterminants de l'adoption, le modèle logit binomial est retenu pour répondre à la recherche de cette étude, en spécifiant les relations entre la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé et les facteurs déterminants son adoption.

La fonction logistique étant la plus fréquemment utilisée pour analyser de manière quantitative le

processus d'adoption des innovations agricoles, le modèle logit binomial admet, pour variable expliquée, l'estimation des paramètres des variables explicatives à l'aide du logiciel statistique STATA version 15.0. Dans notre cas d'étude, cela correspond à l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique conditionnellement à la perception des producteurs de gomme arabique, ainsi que de leurs caractéristiques socioéconomiques et institutionnelles. Selon [80], la probabilité d'adoption d'une technologie conditionnellement aux variables explicatives x_i , pour le modèle logit, s'écrit :

Soit P_i la probabilité qu'associe le Logit à l'unité d'enquête i : $P_i = \text{Prob}(Y_i = 1 | x_i) = F(x_i \beta)$

Où $x_i \beta$ un vecteur qui représente les caractéristiques de l'unité d'enquête, de son environnement et de l'objet de son choix ; x_i est un ensemble de variables explicatives (ou répresseurs) associées au modèle ; β un ensemble de paramètres (coefficients des variables explicatives) à estimer et F désigne la fonction de répartition de la loi logistique avec :

$$P = f(x_i \beta) = \frac{e^{x_i \beta}}{1+e^{-x_i \beta}} \text{ implique que } P = \frac{1}{1+e^{-x_i \beta}} = \Lambda(x_i \beta)$$

C'est ce modèle qui a été utilisé dans cette étude en vue d'estimer l'adoption de paquet technique de production de gomme arabique ainsi que ses déterminants.

La décision d'adoption du paquet technique de production par un agriculteur résulte de l'utilité ou du bénéfice que lui procure ce paquet technique. L'adoption ou non du paquet technique est supposé révéler son utilité, que nous ignorons et que nous désignons par Y^* , c'est-à-dire une variable inobservée qualifiée de variable latente. Cependant l'on sait si l'agriculteur adopte ou pas le paquet technique et nous désignons par Y , la décision de l'agriculteur quant à l'adoption du paquet technique

qui vaut 1 si l'agriculteur adopte le paquet technique dans son ensemble ou une partie et 0, sinon. On établit alors une relation entre Y^* qui désigne l'utilité du paquet technique pour l'agriculteur i et Y , qui traduit la décision d'adoption du paquet technique. Nous supposons que l'agriculteur adopte le paquet technique s'il le juge utile ($Y^* > 0$) et ne l'adopte pas, dans le cas contraire ($Y^* < 0$).

Mathématiquement, cela se traduit par : $Y_i = 1$ si $Y^* i > 0$ et $Y_i = 0$ si $Y^* i < 0$

Le modèle empirique peut s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{aligned} PAQUETECHHQ = & \beta_0 + \beta_1 AG + \beta_2 EXPER + \\ & \beta_3 IN + \beta_4 ACP + \beta_5 CV + \beta_6 SPER + \beta_7 FT + \\ & \beta_8 QV + \beta_9 FORM + \beta_{10} RA + \beta_{11} PER + \varepsilon_i \end{aligned}$$

Les β_i représentent les coefficients des variables explicatives et ε_i est le terme d'erreur.

*Variables explicatives/indépendantes

La description des variables socioéconomiques et institutionnelles explicatives du modèle empirique du choix à adopter l'ensemble ou pas du paquet technique de production de gomme arabique est faite dans le tableau 2 suivant.

Tableau 2: Récapitulatif des variables utilisées dans le modèle d'adoption et les signes attendus

Variables	Description	Effet attendu
Variable à expliquer		
PAQUETECHQ	La variable dépendante du modèle empirique est l'adoption du paquet technique. Cette variable qualitative dichotomique est codée paquetchq et prend la valeur 1 si le paquet technique est adopté dans son ensemble, 0 dans le cas contraire.	
Variables explicatives		
Ag	Cette variable désigne l'âge du producteur-cueilleur de gomme arabique. Dans la littérature, elle peut influencer négativement ou positivement l'adoption d'une innovation agricole.	+/-
Exper	Cette variable désigne l'expérience du producteur-cueilleur de gomme arabique dans l'activité de production/cueillette de gomme arabique. Elle peut être un facteur déterminant l'adoption du paquet technique. On cherche donc à vérifier cela en l'introduisant dans le modèle.	+/-
NI	Cette variable désigne le niveau d'instruction du producteur-cueilleur de gomme arabique	+
ACP	Cette variable désigne l'activité principale du producteur-cueilleur. Elle prend la valeur 1 si le producteur a comme activité principale la production/cueillette de gomme arabique et 0 pour le contraire. On s'attend ici à un signe positif. L'idée vient du fait que les producteurs qui ont la production/cueillette de gomme comme activité principale sont plus réceptifs aux innovations surtout celles qui visent l'amélioration de leur revenu.	+
CV	Contact avec les services de vulgarisation/formation et encadrement agricole. Cette variable peut influencer négativement ou positivement la prise de décision d'adoption du paquet technique de production de gomme arabique. Elle prend la valeur 1 si producteur-cueilleur est en contact avec la vulgarisation, et 0 sinon. On s'attend ici à un signe positif.	+
Super	Cette variable désigne la superficie emblavée en gomme arabique. Elle peut être un facteur déterminant de l'adoption du paquet technique de production. On s'attend ici à un signe positif.	+
FT	Cette variable désigne le nombre d'actifs agricoles dans les ménages enquêtés. On s'attend à un signe positif car la production-cueillette de gomme arabique requiert exigence en termes de main d'œuvre.	+
QV	Cette variable désigne la quantité de gomme obtenue et vendue par le producteur-cueilleur. C'est une variable quantitative continue, et peut influencer positivement l'adoption du paquet technique. Son s'attend à un signe positif.	+
Form	Cette variable désigne la formation des producteurs-cueilleurs sur le paquet technique de production de gomme arabique. Elle peut influencer positivement ou négativement la prise de décision d'adoption du paquet technique de production de gomme arabique. Elle prend la valeur 1 si producteur-cueilleur a reçu une formation sur le paquet technique de production de gomme arabique, et 0 sinon.	+
RA	Cette variable désigne le revenu annuel tiré de la vente de gomme arabique récoltée. Elle peut influencer négativement ou positivement la prise de décision d'adopter le paquet technique de production.	+/-
PER	Cette variable désigne la perception du producteur-cueilleur sur le paquet technique de production. Cette variable qualitative dichotomique et prend la valeur 1 si le paquet technique est jugé plus utile que les pratiques endogènes, 0 dans le cas contraire.	+/-

Source : Auteur (Enquêtes 2022 ; 2023)

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyses économétriques

- **Matrice de corrélation des variables explicatives de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique vulgarisé au Mali**

Avant la spécification du modèle logit, il convient de faire la matrice de corrélation des variables

indépendantes incluses dans le modèle. En effet, la multicolinéarité a plusieurs conséquences, dont l'obtention des coefficients imprécis et instables. Le tableau 3 présente la matrice de corrélation qui a permis de dégager le degré de corrélation entre les variables explicatives décrites dans les outils d'analyse. Ainsi, ce tableau montre des faibles coefficients de corrélation permettant au modèle logit de déterminer des coefficients précis et stables.

Tableau 3: Matrice de corrélation entre les variables indépendantes du modèle de régression logit sur le paquet technique de production de gomme arabique

Variables	Ag	Exper	NI	ACP	CV	Super	FT	QV	Form	RA	PER
Ag	1										
Exper	0.64	1									
NI	-0.05	-0.01	1								
ACP	-0.43	-0.26	0.06	1							
CV	0.27	0.35	0.17	-0.38	1						
Super	0.20	0.21	0.12	-0.28	0.44	1					
FT	0.19	0.46	-0.09	0.10	0.18	0.06	1				
QV	-0.07	0.16	-0.03	-0.04	-0.19	0.03	0.42	1			
Form	0.09	0.15	0.19	-0.28	0.76	0.36	0.12	0.03	1		
RA	-0.18	0.00	-0.28	-0.02	-0.11	0.05	0.22	0.78	0.12	1	
PER	-0.04	0.01	-0.24	0.15	-0.19	-0.14	-0.05	-0.18	-0.09	-0.14	1

- **Facteurs explicatifs de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique vulgarisé au Mali**

Afin d'avoir une idée précise des facteurs influençant l'adoption du paquet technique de production, nous avons utilisé le modèle logit (tableau 4). L'analyse de ce tableau 4 révèle que le modèle présente de bonnes propriétés prédictives et estimatives pour le paquet technique de production de gomme arabique étudié. En effet, le ratio de vraisemblance s'est révélé significatif à 5% après le test de khi-deux. Donc le modèle est globalement

significatif au seuil de 5% (tableau 4). Le pseudo-R² est égal 0,3548. On peut donc, à partir du modèle, faire des prévisions sur les modalités de la variable dépendante, connaissant celles des variables indépendantes avec une probabilité allant à 72,13% d'avoir une prédiction juste. Alors, il ya sensiblement une bonne concordance entre les probabilités calculées et les fréquences de réponses observées. Autrement dit, les variables explicatives incluses dans le modèle expliquent à 72,13% la variation de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique.

Tableau 4: Estimation des paramètres du modèle de régression des facteurs déterminants de l'adoption du paquet technique de production de la gomme arabique au Mali

Variable à expliquer PAQUETECHQ	Coefficients	Std.Err.	z	P> z	[95 % Conf. Interval]
Variables explicatives					
Ag	0,1392484	0,6481	2,15	0,032**	0,0122232
Exper	-0,1576696	0,625619	-2,52	0,012***	-0,2802887
NI	0,76023	1,753728	0,43	0,665	-2,676821
ACP	0,3616967	0,366691	0,99	0,324	-0,3569418
CV	1,647253	1,954853	0,84	0,399	-2,184189
Super	0,2172731	0,164637	1,32	0,187*	-0,1054094
FT	0,2273136	0,5414151	0,42	0,675	-0,8338406
QV	0,001838	0,0012871	1,43	0,153*	-0,0006846
Form	-0,3432239	1,446793	-0,24	0,812	-3,178887
RA	4,56e-06	2,59e-06	1,76	0,079*	9,63e-06
PER	0,5932523	0,7082091	0,84	0,402	-0,794812
CONS	-6,402092	3,492568	-1,83	0,067	-13,2474

Nombre d'observation=42	
Prob > chi2 =0,0481	
Résumé du modèle de régression	Log likelihood =-18,007237
LR chi2 (11) =19,81	
Pseudo R2 = 0,3548	
% de prédiction correcte =72,13	

Légende : *** : valeur significative à 1% ($P \leq 0,01$); ** : valeur significative à 5% ($0,01 < P \leq 0,05$); * : valeur significative à 10% ($0,05 < P \leq 0,10$).

Quatre variables expliquent la probabilité d'adopter le paquet technique (tableau 4). Il s'agit de l'âge, de l'expérience dans la cueillette/production de gomme arabique toutes significatives au seuil de 5% ; de la superficie emblavée en gomme arabique, de la quantité vendue et du revenu annuel tiré de l'activité de cueillette de gomme arabique toutes significatives au seuil de 10%. La valeur numérique des coefficients du modèle logit n'ayant pas d'interprétation directe, l'effet des variables explicatives sur la probabilité d'adopter le paquet technique est appréciée à travers le calcul des effets marginaux (tableau 5). Il en ressort que bien que la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé croît avec la quantité de gomme écoulée sur le marché, toute chose égale par ailleurs, l'accroissement de cette quantité de gomme vendue d'une unité de kg, n'augmente la probabilité d'adopter le paquet technique que 0,03%. L'âge et la superficie cultivée en gomme arabique ont une influence sur la probabilité d'adopter le paquet technique. Ainsi, l'augmentation de l'âge entraîne l'adoption celui-ci de 2,79%. Quant à la superficie emblavée, son accroissement d'un hectare n'augmente la probabilité d'adopter le paquet technique que de 4,36%. Le calcul des effets marginaux montre également que le revenu tiré de la production-cueillette de la gomme a en revanche une plus grande influence sur la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé. En effet, l'augmentation d'une unité supplémentaire de FCFA sur le revenu accroît de près de 91,6% la probabilité d'adopter le paquet technique. Cependant, il ressort que l'expérience est significative au seuil de 1%, et influence négativement l'adoption du paquet technique. En effet, l'expérience diminue de près de 3,16% la probabilité d'adopter le paquet technique.

Tableau 5: Effets marginaux

Y= Pr (paquetechnique) (predict)	0,7234383
Variable	dy/dx
Age	0,0279899
Expérience dans la cueillette de gomme arabique	-0,0316927
Niveau d'éducation*	0,1321494
Activité principale	0,0727035
Contact avec les services de vulgarisation*	0,3373862
Superficie emblavée en gomme arabique	0,0436734
Force de travail (actif du ménage)	0,0456916
Quantité de gomme arabique vendue sur le marché	0,0003694
Formation sur le paquet technique*	-0,0684229
Revenu annuel	9,16e-07
Perception	0,1192478

Légende: (*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

L'analyse des déterminants de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique à l'aide du modèle Logit a révélé que les variables sociales et économiques telles que l'âge, l'expérience du producteur-cueilleur, la superficie emblavée et le revenu ont un impact sur la probabilité d'adoption du paquet technique diffusé. Ces résultats confirment les travaux de [37]; [11]; [40]; [42]; [43]; [44]; et [41] qui ont trouvé que les facteurs économiques tels que le prix et revenu agricoles sont déterminants de l'adoption des technologies agricoles. La littérature théorique et empirique sur l'adoption de la technologie a montré que la taille d'une entreprise joue un rôle important quant à la décision d'adopter de nouvelles technologies [30]. La taille des exploitations est un des premiers critères mis en évidence par la littérature pour expliquer les décisions individuelles d'adoption technologique [11], cité par [31]. Par contre, nos résultats ne

corroborent pas ceux des travaux de [29] qui ont montré qu'il n'y a pas une relation claire entre la taille de la firme et l'adoption des innovations.

Il ressort des résultats obtenus que les autres variables telles le niveau d'éducation, l'activité principale, le contact avec les services de vulgarisation, la force de travail/actif du ménage, la formation et la perception n'ont pas d'impact significatif sur la probabilité d'adoption du paquet technique de production de gomme arabique. Ces résultats ne confirment pas ceux des travaux de [37]; [11]; [40]; [41]; [42]; [43]; [44]; et [41] qui ont mis en évidence les facteurs institutionnels comme déterminants de l'adoption des technologies agricoles.

Le niveau d'éducation, avec 88,09% des enquêtés sans éducation formelle ou informelle, n'influe pas la probabilité d'adopter le paquet technique. Pour ce

qui est de l'appartenance du producteur-cueilleur à un groupement coopératif, la formation et la perception, et l'activité principale, celles-ci n'ont aucune influence sur la probabilité d'adopter le paquet technique.

Le nombre d'actifs familiaux, avec une moyenne de 2,33 par exploitation, n'influe pas la décision d'adopter l'ensemble des éléments du paquet technique puisque les gommeraies se démarquent de la logique des exploitations agricoles familiales au Mali et recourent à la main d'œuvre extérieure salariée pour assurer les travaux.

CONCLUSION

Dans le cadre de cet article, nous nous sommes intéressés à l'analyse des déterminants de l'adoption du paquet technique de production de gomme arabique vulgarisé au Mali. L'approche empirique d'analyse de l'adoption des innovations technologiques a permis d'analyser les facteurs explicatifs de l'adoption du paquet technique, avec des modèles économétriques spécifiques, notamment le logit binomial. Les résultats ont révélé que le paquet technique est partiellement adopté et seulement quatre variables sont déterminantes de cette adoption partielle, parmi les variables introduites dans le modèle. Il s'agit notamment de l'âge de l'enquêté, de l'expérience du producteur-cueilleur dans l'activité de production/cueillette, de la superficie occupée pour la production/cueillette de gomme arabique et du revenu annuel tiré de l'activité de cueillette de la gomme arabique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Adétonah, S. (2005). Genre, production et commercialisation de légumes sains en zones urbaine et péri-urbaine en Afrique de l'ouest : cas du Bénin, Togo et Ghana. Protocole de thèse de Doctorat, Université de Lomé, Togo, 90 p.
- [2] Roussy, C., Ridier, A., Chaib, K. (2015). Adoption d'innovations par les agriculteurs : rôle des perceptions et des préférences. Working Paper 15 (3), Toulouse, France: SMART-LEREKO, INRA, 35p.
- [3] Rogers E. M. (2003). Diffusion of innovations. Fifth edition. New York, Free Press, 512 p.
- [4] Adégbidi, A. B. E. A. (1992). Les déterminants socio-économiques de l'adoption de technologies nouvelles : Cas du maïs sélectionné dans le département de l'Atacora en République du Bénin. Thèse de Doctorat, CIRES, Faculté des Sciences Economiques, Université Nationale de Côte-d'Ivoire, Côte-d'Ivoire.
- [5] Chambers, R., Pacey, A. and Thrupp, L. A. (1994). Les Paysans d'abord. Les innovations des paysans et la recherche agronomique, Karthala, Paris. 231p.
- [6] Adesina, A. A. and Zinnah, M. M. (1992). Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. Agricultural Economics, 9, 297-311.
- [7] Adesina, A. A. et Baidu-Forson., J. (1995). Farmer's perceptions and adoption of new agricultural technology: evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, West Africa. Agricultural Economics 13, 1-9.
- [8] Knowler, D., Bradshaw, B. (2007). Farmer's adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, 32(1), 25-48.
- [9] Van Den Ban, Hawkins H., Brouwers J. et Boon, C. (1994). La Vulgarisation Rurale en Afrique. Karthala, Paris, 373p.
- [10] Ngondjeb, Y., Nje, P. et Havar, M. (2011). Déterminants de l'adoption des techniques de lutte contre l'érosion hydrique en zone cotonnière du Cameroun. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux* 64 (1), 9-19.
- [11] Feder G., & Just R.E., and Zilberman D. (1985). «Adoption of agricultural innovations in developing Countries: A survey». *Economic Development and Cultural Change*, 33, 255 -298.
- [12] Uaiene R.N., Arndt C., and Masters WA. (2009). Determinants of agricultural technology adoption in Mozambique. Discussion papers, (67E), P.31 (3). National Directorate of Studies and Policy Analysis, Ministry of Planning and Development Republic of Mozambique.
- [13] Belaidi (2013). Les déterminants de choix de l'irrigation localisée par les exploitants de la Mitidja. *Les cahiers du CREAD*, 103, 157-184. <https://www.ajol.info/index.php/cread/article/view/12452> Consulté Mercredi, le 24/08/2022 à 14h45 min
- [14] Griliches Z. (1957). «Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change». *Econometrica*, 25, 501 -522.
- [15] Lokossou, J. (2011). Impact de l'adoption des variétés de riz NERICA sur la productivité des facteurs de production : Cas des départements de l'Atacora et des Collines. Thèse d'Ingénieur Agronome. FSA/UNB
- [16] Adams, M. E. (1982). Agricultural extension in developing countries. Longman Harlow.
- [17] Gopalakrishnan, S. and Damancour, F. (1997). A review of innovation research in economics, sociology and technology. Great Britain, Elsevier Science 25(1), 15-28.
- [18] Feder G. and Umali D.L. (1993). The adoption of agricultural innovations: a review. *Technol. Forecasting Social Change*, 43, 215-239.
- [19] Ali-Olubandwa, A.M., Odero-Wanga, D., Kathuri N.J. and Shivoga, W.A. (2010). Adoption of improved maize production practices among small scale farmers in the agricultural reform era: the case of western province of Kenya. *J. Int. Agric. Extension Educ.*, 17, 21-30.
- [20] Monge M., Hartwich F. and Halgin D. (2008). *How change agents and social capital influence the adoption of innovations among small farmers*. Discussion Paper 00761. International Food Policy Research Institute, Washington DC, 76 p.
- [21] Valente T.W. et Davis R.L. (1999). Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. *Ann. Am. Acad. Political Social Sci.*, 566, 55-67.
- [22] Bentz B., Bergeret P., Castellanet C., Delville P. L., Thibaut D., Bal P. et Wybrecht B. (2002). Appuyer les innovations paysannes. Dialogue avec les producteurs et expérimentations en milieu paysan. *Editions du GRET, Ministère des Affaires étrangères*, Paris, 88 p.
- [23] Boulier, D. (1989). Du bon usage d'une critique du modèle diffusionniste : discussion-prétexte des concepts de Everett M. Rogers. *Réseaux*, 36(7), 31-51.
- [24] Sunding, D., Zilberman, D. (2001). Chapter 4 The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. In *Handbook of*

- Agricultural Economics. L. G. Bruce and C. R. Gordon, Elsevier, 1(part A), 207-261.*
- [25] CYMMIT (1993). The adoption of agricultural technology: a guide for Survey Design, Mexico.
- [26] Houndékon, V. et Gogan, A. (1996). Adoption d'une technologie nouvelle de jachère courte à base de mucuna. Cas du département du Mono dans le Sud-Ouest du bénin. INRABIITA, Bénin, in Ag and NRM. Michigan State University Working Paper N°241, Michigan, USA.
- [27] Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., and Andrea Cattaneo, A. (2013). Adoption and intensity of adoption of conservation farming practices in Zambia, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 187, 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.017>
- [28] Adéoti R., Coulibaly O., Tamo M. (2002). « Facteurs affectant l'adoption des nouvelles technologies du niébé vigna unguiculata en Afrique de l'Ouest ». *Bulletin de la Recherche Agronomique du Benin*, (36).
- [29] Mansfield E. (1968). *Industrial Research and technological innovation*. W.W. Norton, New York.
- [30] Davies S. (1979). *The Diffusion of Process Innovations*. Cambridge University Press.
- [31] Richefort L. (2008). « Processus de sélection des technologies d'irrigation par les agriculteurs : entre interactions sociales et choix rationnels ». Thèse de Doctorat en sciences économiques, Université de la Réunion.
- [32] Kijima, Y., Otsuka, K., and Sserunkuma, D. (2011). An inquiry into constraints on a green revolution in Sub-Saharan Africa: The case of NERICA rice in Uganda, *World Development*, 39(1), 77–86.
- [33] Pypers, P., Sanginga, J. M., Kasereka, B., Walangululu, M., & Vanlauwe, B. (2011). Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava-legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo. *Field crops research*, 120(1), 76-85. (Disponible sur ce lien <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.09.004> consulté le 10/05/2023 à 12h 56min
- [34] Andersson, J.A. and D'Souza, S. (2014). From adoption claims to understanding farmers and contexts: A literature review of Conservation Agriculture (CA) adoption among smallholder farmers in southern Africa, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 187, 116–132.
- [35] Negatu W. and Parikh A. (1999). The impact of perception and other factors on the adoption of agricultural technology in the Moret and Jiru Woreda (district) of Ethiopia. *Agricultural Economics* 21, 205 - 216.
- [36] Boussard J. M. (1987). *Economie de l'agriculture*. Economica, Paris, 310 p.
- [37] Baidu-Forson, J. (1999). Factors influencing adoption of land-enhancing technology in the Sahel: Lessons from a case study in Niger. *Journal of Agricultural Economics*, 20, 231-239.
- [38] Feder G. and G.O'mara (1981). Farm size and the diffusion of green revolution technology. *Economic Development and Cultural Change* 30, 59 - 76.
- [39] Ouedraogo S.R. (2003). *Déterminants économiques, sociodémographiques et institutionnels de l'adoption et de l'intensité d'utilisation de la culture attelée dans le Centre-Nord du Burkina Faso*. Annales de l'Université de Ouagadougou, Série B, 001, 103-137.
- [40] Feder G. and Umali D.L. (1993). The adoption of agricultural innovations: a review. *Technol. Forecasting Social Change*, 43, 255-298.
- [41] Mbétid-Bessane E. (2014). Adoption et intensification du nouveau Riz pour l'Afrique en Centrafrique. *TROPICULTURA*, 32(1), 16-21.
- [42] Napier T.L., Napier A.S. and Turcker M.A. (1991). The social, economic and institutional factors affecting adoption of soil conservation practices: the Asian experience. *S. T. R.*, 20, 365-382.
- [43] Nowak P.J. and Korschung P.J. (1993). Social and institutional factors affecting the adoption and maintenance of agricultural BMPs, in: Schaller F. and Bauley H. (Eds), *Agricultural Management and Water Quality*. Iowa State University Press, Ames, IA, 349-373.
- [44] Ouedraogo S.R. (2005). *Déterminants institutionnels de l'intensification agricole dans le Centre-Nord du Burkina Faso*. Journées de la SFER, Montpellier 7 - 9/11/05, 15 p.
- [45] Meijer, S. S., Catacutan, D., Ajayi, C. O., Sileshi, G. W., et Nieuwenhuis, M. (2015). The role of knowledge, attitudes and perceptions in the uptake of agricultural and agroforestry innovations among smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 1(13), 40 –54. <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2014.912493>
- [46] Munyuli T., Kana C., Rubabura D., and Kajivunira. (2017). Farmers' perceptions, believes, knowledge and management practices of potato pests in South-Kivu Province, eastern of Democratic Republic of Congo. *Open Agriculture* 2, 362–385. DOI: 10.1515/opag-2017-0040
- [47] Mushagalusa Balasha A. and Nkulu Mwine Fyama J. (2020). Déterminants d'adoption des techniques de production et protection intégrées pour un maraîchage durable à Lubumbashi, République démocratique du Congo. *Cah. Agric.* 29, 13. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020012>
- [48] Marra, M., Pannell, D. J., Abadi Ghadim, A. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems*, 75(2-3), 215-234.
- [49] Akudugu, M. A., Guo, E., Dadzie, S. K. (2012). Adoption of modern Agricultural production technologies by households in Ghana: What factors influence their decisions? *Journal of Biology, Agricultural and Healthcare*, 2 (3).
- [50] Abdulai, A., Huffman, W.E. (2005). The diffusion of new agricultural technologies: The case of crossbred-cow technology in Tanzania. *American Journal of agricultural Economics*, 87(3), 645-659.
- [51] Rodriguez-Entrena, M., and Arriaza M. (2013). Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and decision*, 73(2), 203-221.
- [52] Bultena GL., Hoiberg E.O. (1983). «Factors Affecting Farmers' Adoption of Conservation Tillage». *Journal of Soil and Water Conservation*, 38(3), 281-284.
- [53] Feder G. (1982). «Adoption of interrelated agricultural innovations: complementary and the risk, scale and credit». *American Journal of Agricultural Economics*, pp.94-101.
- [54] Rahm T., Singh RD. (1988). «Farm households in rural Burkina Faso: some evidence on allocative and direct returns to schooling, and male-female labor productivity differentials». *World Development*, 16 (3), 419-424.
- [55] Feder G., and Slade R. (1984). «The acquisition of information and the adoption of new technology». *American journal of agricultural economics*, 66, 312 -320.

- [56] Parcell, J. L., and Gedikoglu, H. (2013). A Differential Game Approach to adoption of Conservation Practices. 2013 Annual Meeting, August 4-6, 2013, Washington, DC, Agricultural and Applied Economics association, 14 p.
- [57] Baffoe-Asare, R., Danquah, J. A., Annor-Frempong, F. (2013). Socioeconomic Factors Influencing Adoption of Codapec and Cocoa High-tech Technologies among Small Holder farmers in Central Region of Ghana. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), 277-292.
- [58] Soule, M. J., Tegene, A., Wiebe, K. D. (2000). Land Tenure and the adoption of Conservation practices. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(4), 993-1005.
- [59] Featherstone AM., Kaliba ARM., Norman DW. (1997). «A stallfeeding management for improved cattle in semiarid central Tanzania: Factor influencing adoption». *Agricultural Econometrics*, p.133-146.
- [60] UMOCI (2017). Guide de bonnes pratiques d'exportation du gommier et de production de gomme arabique de qualité. 46p.
- [61] Mariano, M.J., Villano, R. and Fleming, E. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural systems*, 110, 41-53.
- [62] Noltze, M., Schwarze, S. and Qaim, M. (2012). Understanding the adoption of system technologies in smallholder agriculture: The system of rice intensification (SRI) in Timor Leste. *Agricultural systems*, 108, 64-73.
- [63] Kinané, M. L., Koné, M., & Sidibé, A. (2007). Perception de la Dégradation des Terres et Adoption des Technologies de Conservation des Eaux et des Sols au Nord du Burkina Faso : le cas du Zai et des Cordons Pierreux. *AAAE Conference Proceedings (2007)*, 543–546.
- [64] Pouya, B. M., Ouango Maurice, S., Jean, O., Sermé, I., Gaspard, V., Dehou, D., Papaoba Michel, S., & François, L. (2020). Déterminants socio-économiques de la dégradation de la gestion de la fertilité des sols selon les perceptions paysannes dans les zones cotonnières du Burkina Faso. *Asian Journal of Science and Technology*, 11(03), 11003–11011.
- [65] Sidibé, A. (2005). Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 71, 211–224. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.002>
- [66] Sigué, H., Labiyi, I. A., Yabi, J. A., & Biaou, G. (2018a). Déterminants de la perception des producteurs sur la technologie 'Microdose' dans la Gestion Durable des Terres agricoles des Provinces du Kouritenga et du Zondoma au Burkina Faso. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 15, 222–234.
- [67] Tesfaye, S. S. (2017a). Analysis of farmers perception on the impact of land degradation hazard on agricultural land productivity in Jeldu district in West Shewa Zone, Oromia, Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research*, 7, 2224–3186. <https://doi.org/10.5897/jaerd2017.0854>
- [68] Tesfaye, S. S. (2017b). Determinants of Adoption of Sustainable Land Management (SLM) Practices among Smallholder Farmers' in Jeldu District, West Shewa Zone, Oromia Region, Ethiopia. *Global Journal of Science Frontier Research: H Environment & Earth Science*, 17(5), 111–127. https://globaljournals.org/GJSFR_Volume17/5-Determinants-of-Adoption.pdf
- [69] Maddala, G. S. (1983). *Limited-dependent and qualitative variables in econometrics* (No. 3). Cambridge university press
- [70] Agossadou, M. M. T. Séglia, S. S. Adégbidi, A. A. Kayodé, P. A. P. (2018). Connaissances paysannes Et prédisposition à adopter une innovation en agro-alimentaire : cas du décorticage mécanique et de fortification en fer du sorgho dans le Nord-Bénin. *European Sciences Journal, ESJ*, 14 (24), ISSN: 1857-7881. doi.org/10.19044/esj. 2018. v14n24p432.
- [71] Adégbola, P. Y., Arouna, A. et Ahoyo, N. R. A. (2011). Analyse des facteurs affectant l'adoption des greniers améliorés pour le stockage du maïs au Sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin-Numéro spécial 2 : Aspects économiques du stockage et de la conservation du maïs au Sud-Bénin*.
- [72] Tansel, A., Bircan, F. (2006). Demand for education in Turkey: A tobit analysis of private tutoring expenditures. *Economics of Education Review*, 25, 303–313.
- [73] Oladele, O. I. (2005). A Tobit analysis of propensity to discontinue adoption of agricultural technology among farmers in southwestern Nigeria. *Journal of Central European Agriculture*, 6(3), 249-254.
- [74] Manyong, V. M., Houndékon, A. V., Gogan, A., Versteeg, M. N., Van der Pol, F. (1996). Determinants of adoption for a resource management technology: the case of Mucuna in Benin Republic. Proceedings of a conference (ICABE). Agricultural University Press, China.
- [75] Brhane, G. T., Ayuk, E. T., & Adiku, S. G. K. (2021). *Farmers' perception on soil erosion in Ghana: Implication for developing sustainable soil management strategy*. 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242444>
- [76] Sigué, H., Labiyi, I. A., Yabi, J. A., & Biaou, G. (2018b). Facteurs d'adoption de la technologie "Microdose" dans les zones agroécologiques au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(5), 2030–2043. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.6>
- [77] Zongo, B. (2016). Stratégies innovantes d'adaptation à la variabilité et au changement climatiques au Sahel : Cas de l'irrigation de complément et de l'information climatique dans les exploitations agricoles du Burkina Faso. In (*Thèse de doctorat en français*). Belgique, Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech. 257 pages, 78 tableaux, 55 figures, 4 cartes.
- [78] Adimassu, Z., Kessler, A., Yirga, C., & Stroosnijder, L. (2013). Farmers' perceptions of land degradation and their investments in land management: A case study in the central rift valley of Ethiopia. *Environmental Management*, 51(5), 989–998. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0030-z>
- [79] Wickama, J., Nyanga, A., & Masuki, K. (2014). Farmers' Perception Of Land Degradation In Western Usambara Highlands Tanzania. *International Journal of Innovative Research and Studies*, 3(8), 420–450.
- [80] Dougherty, C. (2011). *Introduction to econometrics*. Oxford university press.

Caractérisation de la Végétation Herbacée du Ranch dans le Centre de Conservation, de Multiplication et de Diffusion du Bétail Ruminant Endémique de Madina Diassa dans le Cercle de Yanfolila au Mali

Boureima KANAMBAYE^{1*}, Moussa KAREMBE², Fadiala DEMBELE¹, Dramane TRAORE¹

¹*Institut Polytechnique Rural de Formation et de recherché Appliquée de Katibougou, BP 06 Koulikoro Mali*

²*Faculté des Sciences et Techniques, Université de Bamako, Bamako Mali*

*kanambayeboureima@gmail.com

RÉSUMÉ : La présente étude vise à caractériser les pâturages herbacés du Ranch de Madina Diassa en fonction des types de sols. Il est situé dans le cercle de Yanfolila, région de Bougouni. Pour ce faire, trois types de sols ont été retenus, notamment les sols ferrugineux, gravillonnaires et argilo-sablonneux. Dans chaque type de sol deux transects de 1000 mètre chacun ont été délimités. Le long de chaque transect, trois parcelles unitaires de 16 m² (aire minimale) ont été installées et à l'intérieur desquelles ont été effectués les relevés phytoécologiques et les coupes de biomasse herbacée. Au total 88 espèces herbacées, réparties dans 55 genres et 25 familles, ont été recensées. Les Poaceae et les Fabaceae sont les familles les plus représentées avec respectivement 24% et 33%. La production de phytomasse herbacée a été plus importante sur le sol gravillonnaire (1,6tMS/ha) que sur le sol ferrugineux (0,7tMS/ha) et argilo-sablonneux (0,32tMS/ha). La capacité de charge théorique est inférieure à 2 UBT/ha pendant 6 mois quel que soit le type de sol. La valeur pastorale est inférieure à 50% quel que soit le type de sol. L'analyse du spectre fourrager indique que les espèces de bonne valeur pastorale ne représentent que 40% comparées aux autres catégories fourragères. Cette étude mérite d'être effectuée sur toute l'étendue du Ranch afin d'améliorer la production animale du centre.

Mots-clés : Ranch, types de sols, biomasse herbacée, valeur pastorale, Madina Diassa, Mali.

INTRODUCTION

Le Mali, à l'exception du Niger, est le plus vaste pays de l'Afrique occidentale (DEMBELE et al. 2009). Les deux tiers de sa superficie sont occupés par les zones arides (MEATEU, 2000). Cette situation fait du Mali un pays sahélien et justifie par conséquent son intégration au sein du Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS).

Les pâturages naturels sahéliens jouent un rôle indispensable dans l'alimentation du bétail, ils constituent la base et le plus souvent la totalité des ressources alimentaires des ruminants en élevage extensif (AGONYISSA et SINSIN, 1998).

Au Mali, comme dans la plupart des pays d'Afrique de l'ouest, l'élevage pratiqué est de type pastoral. Dans ce système d'élevage, plus de 90% de l'alimentation des animaux provient essentiellement de l'exploitation des pâturages naturels par le biais de la conduite des troupeaux aux pâturages (BALLO, 2006). En raison de la variabilité climatique, la productivité des pâturages naturels varie de 1 à 6 tonnes de matière sèche par hectare en zone pré guinéenne (DEMBÉLÉ et al., 2009). Cependant, ce potentiel de production pastorale est confronté aux effets conjugués des facteurs anthropiques néfastes (défrichement anarchique, déforestation, feux de brousse) et du changement climatique dont la principale conséquence est la perte croissante de la

production et de la productivité (CISSÉ, 1986).

Au Mali, tous les acteurs impliqués dans la gestion des ressources naturelles, notamment végétales, admettent que le feu de brousse constitue une calamité presque endémique.

Malgré la vaste étendue en espace pastoral que dispose le Centre de Conservation de Multiplication et de Diffusion du Bétail Ruminant Endémique de Madina Diassa (plus de 1000 ha), il est confronté à un déficit fourrager chronique consécutif et récurrent pendant la saison sèche (COULIBALY et al. 2014).

C'est dans ce cadre que cette étude a été réalisée avec comme thème « Caractérisation de la végétation herbacée du Centre de Conservation de Multiplication et de Diffusion du Bétail Ruminant Endémique de Madina Diassa dans la commune rurale de Gouanan, cercle de Yanfolila au Mali ».

Caractéristique de la zone d'étude

L'étude a été réalisée dans le Ranch du Centre de Conservation de Multiplication et de Diffusion du Bétail Ruminant Endémique de Madina Diassa. Ce centre est situé dans la commune rurale de Gouanan.

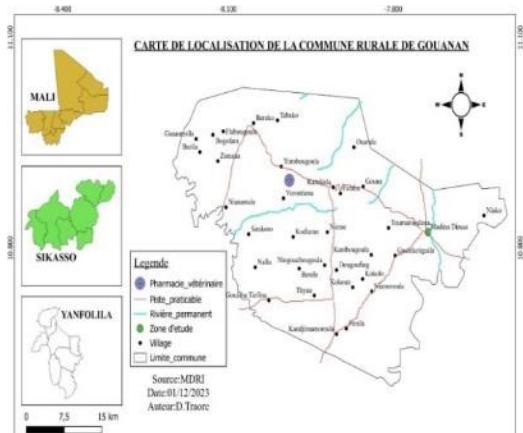


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

La commune rurale de Gouanan, est limitée au Nord par la commune de Wassoulou Ballé ; à l'Est et au Nord-Est par les communes de Djiguirya de Koloni et Bolo Fouta ; au Sud par la commune de Koussan ; au Sud-Est par la commune de Mafélé région de Bougouni et à l'Ouest par la commune de Gouandiaka.

Caractéristiques du milieu physique

- Reliefs

La commune rurale de Gouanan fait partie de la zone agro écologique du haut-Bani du Niger occidental. Le relief est constitué d'une succession de surfaces cuirassées en demi-hauteur de vallées et de plaines. L'altitude moyenne 325 m et les fonds de vallées avec des sols limoneux à limono-argileux en profondeurs sont les domaines des cultures.

- Climat

La commune rurale de Gouenan est caractérisée par un climat de type soudano-guinéen avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1200 à 1300 mm. La température moyenne de la commune est de 28°C. La saison sèche va de Novembre en Mars, la saison pluvieuse qui va du mois d'Avril en Octobre.

- Végétation

Sur les terrains à cuirasse latéritique du Haut Bani-Niger Occidental, on rencontre les formations arbustives dominées par *Detarium microcarpum*, *Combretum glutinosum*, *Lannea microcarpa*, *Parinari curentellifolia*, *Issoberlinia doka*, *Vitellaria paradoxa*, avec un couvert graminéen dominé par l'*Andropogon gayanus*. Sur les sols peu profonds, la végétation est caractérisée par *Combretum glutinosum*, *Pterocarpus erinaceus* avec *A. pseudapricus* et *A. gayanus* au tapis herbacé.

- Ressources en eau

Dans les plaines sablo-limoneuses dominent *Vitellaria paradoxa*, *Daniellia oliveri*, *Annona senegalensis*, *Isoberlinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*. Le potentiel fourrager de cette zone est très

élevé. Le Ballé et le Baoulé sont les deux cours d'eau permanents qui arrosent la commune de Gouanan. Il existe aussi des cours d'eau temporaires le long desquels se trouvent de nombreuses dépressions

- Élevage

La commune a une potentialité dans l'élevage des animaux domestiques, grâce à l'existence des pâturages et la disponibilité du fourrage. L'élevage bénéficie de l'encadrement du CCMD-BRE ex-projet Opération N'Dama de Madina Diassa, du service vétérinaire local de l'État et des vétérinaires privés. La race bovine dominante est la N'Dama à cause de son caractère trypanotolérant.

- Agriculture

L'agriculture est pratiquée à proximité des villages. Il existe des champs de cases près des villages et des champs de brousse dont les plus éloignés sont situés à environ 8 à 10 km des villages. Le riz est cultivé dans les bas-fonds et les plaines du Baoulé et du Wassoulou Ballé. Les contraintes portent sur l'insuffisance de l'encadrement, l'insuffisance des équipements agricoles, la transhumance et la divagation des animaux sédentaires avec pour conséquence, les conflits latents entre agriculteurs et éleveurs (COULIBALY, 2012).

MATERIEL ET METHODES

Méthodes

Choix des sites de collecte des données dans le Ranch du CCMD-BRE

Les critères de choix des sites étaient basés sur l'accessibilité, le type de sol et l'existence des espèces herbacées. Parmi les types de sol rencontrés, il a été retenu le sol ferrugineux, le sol gravillonnaire et le sol argilo-sablonneux.

- *Dispositif adopté pour les relevés*

Le dispositif adopté est un transect de 350 m de long, constitué de trois parcelles unitaires (P1, P2, P3) de forme rectangulaire. Chaque parcelle a une surface de 1000 m² avec 50 m de longueur et 20 m de largeur. Cette superficie représente l'aire minimale pour la végétation ligneuse dans la zone d'étude (GOUNOT, 1969 cités par YOSSI et al. 1996).

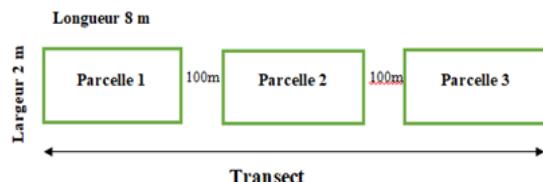


Figure 2 : Dispositif de transect pour les relevés phytoécologiques

Ainsi, nous avons délimité dans chaque parcelle une superficie de 16 m² qui correspond à l'aire

minimale pour les herbacées (KAREMBE, 2001 ; KAREMBE et al, 2009).

Détermination de la composition floristique et la production de biomasse herbacée dans le ranch de Madina Diassa

Pour la détermination de la composition floristique et la production de biomasse herbacée dans le ranch de la zone d'étude, nous avons fait des relevés phytosociologiques. Pour ce faire, il a été adopté la méthode de transect (1000 m²) dans chaque type de sol. Une superficie de 16 m² qui correspond à l'aire minimale a été délimitée. À l'intérieur de cette superficie, il a été systématiquement recensé toutes les espèces présentes et déterminé leur abondance dominance selon l'échelle de BRAUN BLANQUET (1969).

Pour l'évaluation de la production de la biomasse herbacée, il a été adopté la méthode des placeaux métalliques de 25 cm x 25 cm soit 0,25 m², confectionnés à cet effet. Il s'agissait pour nous de faucher la biomasse sur pied à l'intérieur de ces placeaux. Cinq placeaux de biomasse ont été fauchés dans chaque parcelle soit 30 échantillons par transect. Ces échantillons sont pesés au frais avec un peson électronique à haute précision, ensuite un échantillon composite a été prélevé dans chaque mélange de cinq échantillons par point de prélèvement.

Pour déterminer le taux de matière sèche, les échantillons composites ont été placés au soleil pendant deux semaines.

Évaluation de la valeur pastorale herbacée du ranch de Madina Diassa

La valeur pastorale traduit l'intérêt zootechnique d'une espèce végétale ou d'un groupe d'espèces végétales, donc d'un pâturage, pour une espèce animale. Cette valeur pastorale est très variable, car elle est liée à plusieurs facteurs qui sont eux même variables dans le temps et dans l'espace (DAGET ET POISSONNET, 1971, BOUDET 1978). Elle s'exprime pour une formation végétale donnée à partir de la contribution spécifique au recouvrement des espèces et de leur qualité du point de vue appétibilité. Chaque espèce présente un indice qui détermine sa qualité pastorale. Cet indice est compris entre 0 et 5 (DAGET ET GODRON, 1995). Les espèces à indice de qualité 0 sont non appétées par les animaux et sont considérées de mauvaise qualité pastorale, tandis que celles à indice de qualité 5 sont les plus appétées et par conséquent sont de très bonne valeur pastorale. Pour la calculer, on multiplie les contributions des diverses espèces (C_{Si}) au couvert végétal par les indices de qualité correspondants (I_S). La formule utilisée pour calculer cette valeur pastorale est :

$$VP = \frac{1}{5} \sum CS_i * IS_i \quad (1)$$

Avec:

VP : Valeur pastorale en pourcentage (%) ;

CS_i : Contribution spécifique de l'espèce i en pourcentage ;

IS_i : Indice spécifique de qualité (0 à 5).

Détermination de la capacité de charge théorique du ranch de Madina Diassa.

La capacité de charge théorique d'un pâturage est la quantité de bétail que peut supporter ce pâturage sans se détériorer, le bétail devant rester en bon état d'entretien, voir prendre du poids ou produire du lait pendant son séjour sur le pâturage sans pour autant le détruire (Boudet, 1978). En effet la capacité de charge a été calculée sur la base de la matière sèche récoltée dans le ranch de Madina Diassa. Elle est fonction de la quantité et de la qualité du fourrage produit.

L'évaluation de la capacité de charge est faite à partir des besoins quotidiens de l'Unité Bétail Tropical (UBT), à savoir 6,25 Kg de MS par jour (Boudet 1978). Le calcul a concerné seulement la période de soudure, soit 6 mois. Cela parce que la qualité des parcours n'est pas limitative des productions animales au cours de la saison des pluies.

- *Traitements des données*

Les données collectées ont été saisies et traitées à l'aide du logiciel Excel. Il s'agit des données d'enquêtes, de biomasse herbacée et d'indices abondance-dominance des espèces herbacées. Pour l'analyse et l'interprétation des résultats, il a été utilisé des graphiques et tableaux.

RESULTATS

Les résultats de la présente étude sont relatifs à la composition floristique, la valeur pastorale, à la production de biomasse des différents types de sol et à la capacité de charge du site d'étude.

Composition floristique des herbacées dans le ranch de Madina Diassa

L'analyse du tableau 2 montre que la flore herbacée du ranch de Madina Diassa est constituée de 88 espèces reparties en 55 genres et 25 familles. Le nombre d'espèces est plus important sur le sol ferrugineux avec 64 espèces, suivi des sols gravillonnaire et argilo-sablonneux avec 50 espèces chacun. Toutefois, 24 espèces sont communes à tous les types de sol (ferrugineux, gravillonnaire, argilo-sablonneux), il s'agit de : Andropogon ascinodis, Aspilia bussei, Aspilia sp, Biophytum sensitivum, Borreria radiata, Borreria stachydea, Borreria chaetocephala, Cassia mimosoides, Cochlospermum tinctorium, Commelina sp, Cyperus sp, Digitaria

chevalieri, Digitaria horizontalis, Dioscorea praehensilis, Hedychium coronarium, Hyptis spicigera, Lindernia dubia, Mitracarpus scaber, Monechma ciliatum, Paspalum scrobiculatum, Pennisetum pedicellatum, Setaria barbata, Tephrosia linearis.

Tableau 1 : Répartition des espèces herbacées en fonction des types de sol dans le ranch de Madina Diassa

Espèces	Fe	Grav	Arg-sab
Lepidagathis anobrya	-	+	-
Monechma ciliatum	+	+	+
Pandiaka involucrata	-	+	-
Crinum moorei	+	+	-
Cyrtosperma senegalense	+	+	-
Ageratum conyzoides	+	-	+
Aspilia bussei	+	+	+
Aspilia sp	+	+	+
Blumea guinnees	-	-	+
Vernonia sp	+	-	-
Cochlospermum planchonii	+	-	-
Cochlospermum tinctorium	+	+	+
Commelina forskae	-	+	+
Commelina sp	+	+	+
Ipomoea blepharophylla	+	+	-
Ipomoea linearis	+	-	-
Ipomoea triloba	-	+	-
Costus spectabilis	-	+	-
Cucumis melo	+	-	-
Cyperus esculentus	-	+	-
Cyperus rotundus	+	-	+
Cyperus sp	+	+	+
Fimbristylis ferruginea	+	-	-
Mariscus mariscus	+	-	-
Dioscorea praehensilis	+	+	+
Euphorbia hirta	-	+	-
Alysicarpus sp	-	+	+
Arachis glabrata	+	-	+
Cassia mimosoides	+	+	+
Crotalaria pallida	+	-	-
Crotalaria retusa	+	-	-
Desmodium sp	+	-	-
Indigofera linearis	+	-	-
Indigofera macrocalyx	-	-	+
Indigofera pulchra	+	-	-
Indigofera sp	-	-	+
Tephrosia bracteolata	+	-	-
Tephrosia linearis	+	+	+
Tephrosia pedicellata	-	-	+
Tephrosia sp	+	-	+
Vigna racemosa	-	+	+
Zornia glochidiata	+	+	+
Inconnue	+	+	+
Inconnue	+	+	+
Hyptis spicigera	+	+	+
Hyptis suaveolens	+	-	-
Leucas martinicensis	+	-	+
Ocimum sp	+	-	+
Lindernia dubia	+	+	+
Sida acuta	+	-	-
Sida carpinifolia	+	-	+
Sida rhombifolia	-	+	-
Sida urens	+	-	+
Triumfetta pentandra	+	+	-
Biophytum sensitivum	+	+	+
Scoparia dulcis	-	+	-
Andropogon ascinodis	+	+	+
Andropogon gayanus	+	+	-
Andropogon pseudapricus	+	-	-

Andropogon sp	+	+	-
Brachiaria ramosa	+	-	+
Brachiaria deflexa	-	+	-
Ctenium elegans	+	-	-
Cymbopogon citratus	-	-	+
Digitaria chevalieri	+	+	+
Digitaria horizontalis	+	+	+
Digitaria sp	-	+	-
Hackelochloa granularis	+	-	-
Microchloa indica	-	+	-
Paspalum scrobiculatum	+	+	+
Pennisetum pedicellatum	+	+	+
Pennisetum polystachyon	+	-	+
Rottboellia exaltata	-	+	-
Schizachyrium sanguineum	-	+	+
Setaria barbata	+	+	+
Setaria pallidifusca	-	+	+
Sporobolus festivus	+	-	-
Polygala arenaria	+	-	+
Borreria chaetocephala	+	+	+
Borreria radiata	+	+	+
Borreria stachydea	-	-	+
Borreria sp	-	-	+
Borreria stachydea	+	+	+
Borreria verticillata	+	-	-
Mitracarpus scaber	+	+	+
Tacca involucrata	+	-	+
Lippia chevalieri	+	+	-
Hedychium coronarium	+	+	+
	64	50	50

Légende : (+) : présence, (-) : absence, Fe : Ferrugineux

Grav : Gravonnaire, Arg-sab : Argilo-sablonneux.

La contribution des familles à la flore herbacée du ranch est illustrée par la figure 3.

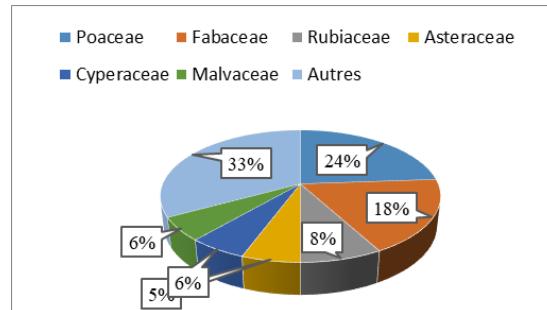


Figure 3: Contribution globale des espèces herbacées par famille dans le ranch de Madina Diassa

L'analyse de la figure 3 montre que la contribution des espèces herbacées varie en fonction des familles. Ainsi, les Poaceae et les Fabaceae ont enregistré les plus importantes contributions avec respectivement 24 et 18%. En revanche, les Rubiaceae, les Malvaceae, les Cyperaceae et les Asteraceae ont enregistré des contributions inférieures à 10%. Les espèces herbacées dont leur contribution individuelle est inférieure à 5% ont constitué Autres familles et représentent au totale 33%. Il s'agit, des Acanthaceae, Amaranthaceae, Amaryllidaceae; Araceae, Cochlospermaceae, Commelinaceae, Convolvulaceae, Costaceae, Cucurbitaceae, Dioscoreaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Linderniaceae, Oxalidaceae et Plantaginaceae

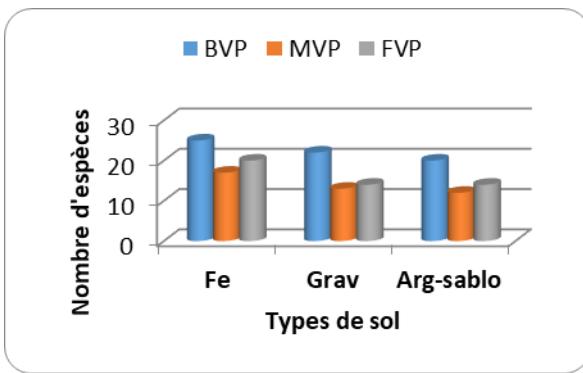


Figure 4 : Variation du nombre d'espèces en fonction du niveau d'appétibilité.

Avec : BVP : Bonne Valeur Pastorale ; MVP : Moyenne Valeur Pastorale, FVP : Faible Valeur Pastorale ; Fe : Ferrugineux ; Grav : Gravillonnaire, Arg-sablon : Argilo-sablonneux.

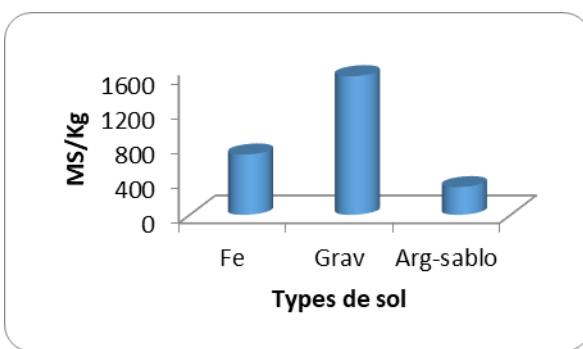


Figure 5 : Production moyenne de biomasse herbacée par type de sol du ranch de Madina Diassa

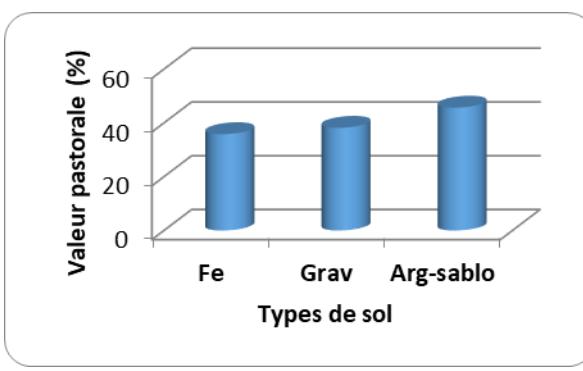


Figure 6 : Variation de la valeur pastorale sur les différents types de sol du ranch de Madina Diassa

La figure 4 illustre la variation du nombre du spectre des espèces herbacées fourragères en fonction des types de sol. L'analyse de la figure 4 montre que les espèces à Bonne Valeur Pastorale (BVP) sont

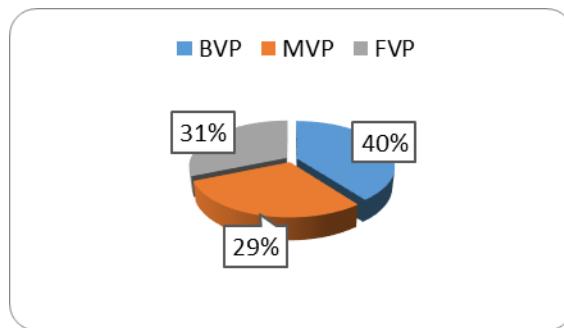


Figure 7 : Répartition en pourcentage des spectres fourrager dans ranch de Madina Diassa

dominantes sur tous les types de sol avec un pic observé dans le sol ferrugineux. Cependant, les autres spectres fourragers (FVP, MVP), ont évolué en dents de scie sur tous les types de sol.

La production de biomasse herbacée dans le ranch de Madina Diassa est illustrée par la figure 5. Il ressort de l'analyse de la figure 5 que la production moyenne de biomasse herbacée est plus élevée sur le sol gravillonnaire avec 1600 kg/ha, suivi de sol ferrugineux 697 kg/ha et le sol argilo-sablonneux avec seulement 320 kg/ha. Toutefois, la production élevée de biomasse sur le sol gravillonnaire pourrait s'expliquer par la dominance d'espèces herbacées envahissantes notamment *Hyptis suaveolens* dans les différentes parcelles.

La variation de la valeur pastorale en fonction des types de sol dans le ranch de Madina Diassa est illustrée par la figure 6. Il ressort de l'analyse de la figure 6 que la valeur pastorale est inférieure à 50% quel que soit le type de sols. Toutefois, elle est plus élevée sur le sol argilo-sablonneux avec 45,69%, suivie de sol gravillonnaire 38,19% et le sol ferrugineux 35,83%. La forte valeur pastorale observée sur le sol argilo-sablonneux pourrait s'expliquer par la présence des espèces herbacées bien appétées par les animaux. Parmi ces espèces on peut citer : *Andropogon ascinodis*, *Brachiaria ramosa*, *Digitaria horizontalis*, *Dioscorea praehensilis*, *Hackelochloa granularis*, *Pennisetum pedicellatum*, *Schizachyrium sanguineum*, *Setaria pallidifusca* et *Zornia glochidiata*.

Répartition en pourcentage des spectres fourragers dans le ranch de Madina Diassa

La répartition en pourcentage des spectres fourragers est illustrée par la figure 7. L'analyse de la figure 7 montre que les espèces à Bonne Valeur Pastorale (BVP) ont enregistré la plus importante contribution de 40%, suivies des espèces à Faible Valeur Pastorale (FVP) 31%, et celles à Moyenne Valeur Pastorale (MVP) avec 29%.

Variation de la capacité de charge en fonction des types de sol dans le ranch de Madina Diassa

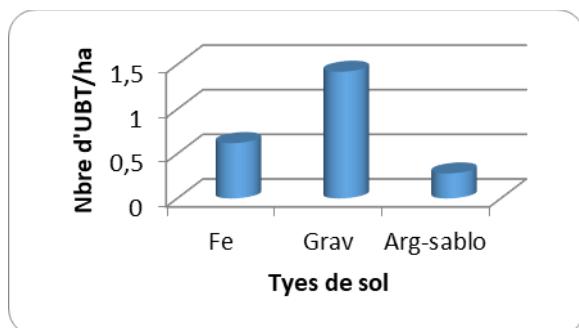


Figure 8 : Variation de la capacité de charge en fonction des types de sol du ranch de Madina Diassa

La figure 8 illustre la variation de la capacité de charge en fonction des types de sol dans le ranch de Madina Diassa. Il ressort de l'analyse de la figure 8 que la capacité de charge est inférieure à 2 UBT/ha pendant 6 mois quel que soit le type de sol. Toutefois, la capacité de charge du sol gravillonnaire est plus importante (1,42 UBT/ha/6 mois) que les autres types de sol, soit 0,62 UBT/ha/6 mois pour le sol ferrugineux et 0,28 UBT/ha/6 pour le sol argilo-sablonneux.

DISCUSSION

Détermination de la composition floristique herbacée dans le ranch de Madina Diassa

L'étude de la flore herbacée du ranch de Madina Diassa a permis de recenser 88 espèces, reparties en 55 genres et 25 familles. Ce résultat est similaire à ceux de Idrissa et al (2020) qui ont obtenus 98 espèces, réparties en 59 genres, appartenant à 27 familles botaniques ; de KONARE (2016) qui a obtenu 63 espèces, réparties en 42 genres, dans 22 familles, dans son étude sur Analyse des impacts de la transhumance sur les ressources pastorales dans la commune rurale de Dabia (cercle de Kenieba) et de KANAMBAYE, (2014) qui a obtenu 76 espèces dans son étude sur l'Impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant au Mali : Cas des zones de Nioro et Diéma dans la région.

Pour la richesse floristique, le ranch de Madina Diassa est dominé par des Poaceae 24% suivies des Fabaceae 18%. Des résultats similaires ont été rapportés par KONARE (2016) qui a trouvé que les Poaceae domine à 37,37% suivies des Fabaceae 23,43% dans l'étude sur la végétation herbacée du territoire de Dabia.

Evaluation de la production de la biomasse herbacée dans le ranch de Madina Diassa

La production de biomasse sèche est faible sur l'ensemble des types de sol. Elle est plus élevée sur le sol gravillonnaire avec 1,600t/ha, suivi de sol ferrugineux 0,697t/ha et de 0,320t/ha pour le sol argilo-sablonneux. Cette production est similaire à celui de KANAMBAYE, (2014) qui a obtenu 1,328t/ha dans la zone pastorale de Lakamané et 1,025t/ha à Korokodio.

Par ailleurs, nos résultats sont inférieurs à ceux de KONARE (2016) qui a obtenu une production de 1,54 à 2,74 tonnes, de Kiëma et al. (2013), dans le territoire de Vipalogo, obtiennent des productions allant de 2,20tMS/ha pour les buttes cuirassées contre 3,33tMS/ha pour les bas glacis. Cela peut s'expliquer par l'effet de l'ombrage, qui n'est pas favorable aux herbacées dans la zone pré-guinéenne. En plus des conditions climatiques et édaphiques la production de biomasse est influencée par l'intensité d'exploitation. Selon KAREMBE (2001), le développement des ligneux et les feux de brousse réduisent aussi cette production.

Evaluation de la valeur pastorale du ranch de Madina Diassa

La valeur pastorale issue de nos différents types de sol est de 45,69% sur le sol argilo-sablonneux. Elle est de 38,19% sur le sol gravillonnaire et de 35,83% sur le sol ferrugineux. Elle varie de 35 à 45%. Ces résultats sont similaires aux ceux présentés par Sawadogo, (2011), dans le territoire de Kotchari (Burkina Faso) qui sont de (49,37%), sur les sols sablo argileux et 44,46% sur les sols squelettiques (Buttes, cuirasses). Par ailleurs, Ces résultats sont nettement inférieurs à celui de KAREMBE, (2001), en zone soudanienne du Mali, obtient une valeur pastorale dans les jeunes jachères variant de 45 à 65%. Notre résultat est inférieur à celui de KANAMBAYE, (2014), lors de son étude dans les parcours de Lakamané et de Korokodio, trouve respectivement 60,71% et 62,09% de valeur pastorale. Les valeurs pastorales de nos différents types de sol sont de qualité faible à moyenne, car n'équivalent pas les normes fixées. Il est généralement admis qu'une végétation est jugée bonne que si sa valeur pastorale atteint ou dépasse 65% (Daget et godron, 1995).

Détermination de la capacité de charge du ranch de Madina Diassa

Au regard des résultats obtenus, la capacité de charge du ranch de Madina Diassa est faible. Elle est de 0,28 UBT/ha sur le sol ferrugineux, de 0,62 UBT/ha sur le sol argilo-sablonneux et de 1,42 UBT/ha sur le sol gravillonnaire pendant 6 mois. Nos résultats sont proches de celui de KONE A (2017) qui a obtenu une capacité charge de 0,76 UBT/ha à

Ziguéna et 0,82UBT/ha à Nafégué dans son étude d'Evaluation des potentialités pastorales en zone cotonnière du Mali : Le cas des villages de Benguéné, Ziguéna et Nafégué. L'Experco International/ID Sahel, (2014), lors d'une étude de mise en place d'une base de données pour suivi pastoral, a obtenu une capacité de charge similaire de l'ordre de 1,2 à 1,8 UBT/ha. Nos résultats sont également proches à celui de KONARE (2016), qui a obtenu 0,46 à 0,81 UBT/ha/6mois.

CONCLUSION

Les pâturages naturels jouent un rôle extrêmement important dans l'alimentation du bétail au Mali. L'herbe des pâturages est un aliment de haute valeur nutritive qui peut satisfaire la totalité des besoins des animaux en production, si elle est correctement exploitée.

Les résultats obtenus au terme de la présente étude sont variés et riches en informations. L'objectif était de Contribuer à mieux connaître les ressources fourragères (herbacées) dans le ranch de Madina Diassa. Ils nous ont permis de faire un état des lieux sur la diversité de la flore herbacée du CCMD-BRE.

Les travaux d'inventaires des ressources végétales ont permis d'affirmer cette grande diversité floristique. L'inventaire a révélé au niveau du ranch 88 espèces herbacées (25 familles, 55 genres) avec une dominance de la famille des Poaceae. Du point de vue pastoral, les espèces de bonne qualité pastorale représentent la proportion des catégories fourragères la plus importante (BVP) et se concentrent plus sur le sol ferrugineux (sonson dugukolo). Malgré cette diversité, la production de biomasse sèche est faible sur l'ensemble des types de sol retenu pour l'étude dans le ranch. Elle est relativement élevée sur les sols gravillonnaires (Bèlè dugukolo) avec 1600 kg/ha contre 320 kg/ha la plus faible, enregistrer sur le sol argilo-sablonneux (Bira dugukolo). Les valeurs pastorales sont faibles à modérées suivant les types de sol. Elles varient de 35,83% à 45,69%. Elle n'a pu atteindre 50% sur aucun des types de sol. Quant à la capacité de charge, elle est faible, moins d'1 UBT/ha/6mois sur le sol ferrugineux et le sol argilo-sablonneux (0,28 UBT/ha/6mois et 0,62 UBT/ha/6mois). Seul le sol gravillonnaire a pu atteindre 1,42 UBT/ha pendant 6 mois.

Il n'existe visiblement pas assez de différence entre les 3 types de sols en ce qui concerne la composition floristique ; par contre, les sols se différencient en valeur pastorale, production de biomasse et en capacité de charge théorique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMEVOR K. A. 2011, Effet du gradient climatique sur la production et la biodiversité des herbacées au Mali. Mémoire de fin de cycle de DEA à la FST, 52p.
- BALLO M., 2006 : Impact du gradient anthropique du sol sur la structure et la diversité de la végétation ligneuse de la Réserve de la Biosphère de la Boucle de Baoulé. Mémoire de DEA, Option : Population- environnement "Gestion Durable des Ressources Naturelles" ISFRA Université de Bamako, 65 p.
- BERHAUT J. 1967, Flore du Sénégal. Edition Clair Afrique, Dakar, Sénégal, 2ème édition : p.
- BREMAN H., DERIDDER N., 1991 : manuel sur les pâtures des pays sahéliens, Paris Wageningen Karthala, A.C.C-T.-Abol-D.L.O.-C.T.A., 485p
- CISSÉ A.M., 1986 : Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud sahélienne. Thèse de doctorat, Université Agronomique de Wageningen, Pays Bas, 211 p.
- COULIBALY et al. 2014, Diagnostic de la situation de l'élevage n'dama dans son berceau de race (cercles de Bougouni et de Yanfolila). CTB Mali et Ministère du Développement Rural (Mali), 25pages
- BERTHE 2023, Rôle des galeries forestières a la production fourragère ligneuse dans le bassin supérieur du fleuve Sénégal au mali. Mémoire de fin d'études Centre Régional AGRHYMET, 4pages
- BOUDET et J.F. ELLENBERGER 1971, Aménagement du berceau de la race N'dama dans le cercle de Yanfolila (république du Mali).
- BOUDET G., 1984 : Manuel sur les pâturages tropicaux et les plantes fourragères. Ministère de la Coopération, Paris, 1975, 254 p
- BOUDET G., 1989 : Evolution de la végétation sur les fluctuations du couvert végétal sahélien dans le Gourma malien et leurs conséquences pour une stratégie de gestion sylvo-pastorale, Paris 486p
- DAGET P. ET GODRON M., 1995 : Pastoralisme. Troupeaux, espaces et sociétés. HATIER-AUPELF, 510 p.
- DEMBELE F., 1996 : Influence du feu et du pâturage sur la dynamique de la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-Nord. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (Cercle de Kolokani), Mali. Institut d'Economie Rurale, Bamako, Mali. Thèse Doct. Sci. 179 p
- DEMBELE Koni 2022, Contribution des galeries forestières du fleuve Sénégal à la production du fourrage ligneux dans le cercle de Kayes au Mali. Mémoire de fin de cycle, IPR/IFRA de Katibougou, 15pages
- DNPIA, 2019 : Rapport d'activité annuelle
- DNPIA, 2022 : Rapport d'activité annuelle
- FANE S, 2012 : Effet du feu et de la pâture sur la dynamique de la végétation en fonction du gradient climatique au mali. Mémoire de fin d'étude de l'IPR/IFRA de Katibougou 19p.
- IDRISSA et al. 2020, Caractérisation des pâturages herbacés sahéliens à accès limité : Cas du Centre Secondaire de Multiplication de Bétail de Sayam (Diffa). J. Appl. Biosci, pages 16097 ,16103, 16111
- KANAMBAYE 2014, Impact des changements climatiques sur l'évolution du système d'élevage transhumant au Mali : Cas des zones de Nioro et Diéma dans la région de Kayes. Pages 16, 17, 33.
- KANAMBAYE 2017, Effet du feu et de la pâture sur la dynamique de la valeur pastorale des herbacées en zone soudano-

sahélienne au Mali : cas de Lakamané et de Korokodio dans la région de Kayes. 17p

KANAMBAYE et al. 2022, Détermination du potentiel pastoral herbacé dans le bioclimat soudanien nord au Mali : Cas de la commune rurale de Diéma. ESI Preprints.159p

KAREMBE M. 2001 : La production végétale et utilisation des ressources pastorales des Jachères en zone soudanienne au Mali. Thèse de Doctorat. De l'Université du Mali. 155page.

KAREMBE et al., 2009 : Influence du climat et du sol sur la végétation ligneuse dans le bassin du fleuve Sénégal au Mali. 3eme Conférence International sur l'analyse multidisciplinaire de la mousson Africaine. Ouagadougou 2009, p184.

KONARE 2016, Analyse des impacts de la transhumance sur les ressources pastorales dans la commune rurale de Dabia (cercle de Kenieba). Mémoire de D.E.A, ISFRA de Bamako, pages 12, 60, 61, 81

Kone A. K. (2017). Evaluation des potentialités pastorales en zone cotonnière du Mali : Cas des terroirs villageois de Benguéne, Ziguéna et Nafégué. Mémoire de Master en Environnement-Pastoralisme, ISFRA, 19 juillet 2017, Bamako (Mali).

MEATEU, 2000 : Stratégie National en Matière de Biodiversité Biologique. Tome 1

MAGASSA, 2014 : Effet du gradient climatique et des facteurs anthropiques sur la production des ressources pastorales en zone soudano-sahélienne au Mali : cas des sites de Lakamané et de

Korokodio dans la région de Kayes. Mémoire de fin cycle, IPR/IFRA de Katibougou, 19Page

MAIGA, 2016 : Effets de la mise en défens sur quelques paramètres de la végétation herbacée dans la zone soudano-sahélienne au Mali : Cas des sites de Lakamané et Korokodio dans la région de Kayes. Mémoire de fin de cycle. Pages, 10, 17, 18.

OUEDRAOGO M. (2008). Les galeries forestières de la Réserve de la Biosphère de la Mare aux Hippopotames du Burkina Faso : caractéristiques, dynamique et ethnobotanique, Thèse de Doctorat de troisième cycle des Sciences Naturelles, FAST, Université de Ouagadougou Burkina Faso,10 juin 2008, Ouagadougou (Burkina Faso), 208 p.

PENNING De VIRES et DJITEYE 1982 : La productivité des pâturages sahéliens.

SODRE 2019, Caractérisation des pâturages naturels du terroir de Kotchari et de la partie voisine du Parc W (côté du Burkina Faso). Mémoire de fin d'étude. Pages, 6,7,8,20

WALKER et al. (1981) et de TOLSMA 1989 : la productivité en zone sahélienne et l'influence du broutage intensif climat.

YOSSI 1996, Dynamique de la végétation post-culturale en zone soudanienne du Mali. Thèse de doctorat. Option Population-Environnement, Isfra, Bamako, Mali, 141p.

ZOUNGRANA I. (1991). Recherche sur les aires pâturées du Burkina Faso". Thèse de doctorat d'Etat des Sciences naturelles, Université de Bordeaux III (France), 28

Caractérisation de la Pisciculture dans la Commune Rurale de Kaladougou, Région de Dioïla

Hawa COULIBALY^{1*}, Mariam COUMARÉ¹, Abdoulaye DIARRA²

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et Recherche Appliquée (IPR/IFRA), Mali

² Direction Régionale de la pêche de Diola

*coulibhawa@yahoo.fr

RESUME : La pêche est une source importante de revenus et un enjeu pour la sécurité alimentaire des populations maliennes. Cependant, la production halieutique se fait de plus en plus faible par rapport à la demande des populations. L'aquaculture et plus particulièrement la pisciculture se présente comme une alternative capable de combler le manque de poissons issus des pêches de capture dans les zones où les ressources en eau disponibles constituent des potentialités. La présente étude s'inscrit dans l'optique d'identifier les problèmes qui affectent le développement de la filière aquacole de la commune de Kaladougou, région de Dioila. Elle est basée sur des enquêtes systématiques qui dressent l'état des lieux de la pisciculture dans la zone. Ces enquêtes ont été conduites au niveau de cinq villages : Dioïla ville, Tiendo, Nematoulaye, Fouga et Wolocoro. La méthode de sondage par boule de neige a été utilisée. Au total, 50 élevages piscicoles privés ont été concernés par cette étude. Les résultats obtenus permettent d'observer la répartition suivante des pisciculteurs dans la commune : 36 % à Diola ; 27 % à Fouga ; 20 % à Wolocoro ; 9% à Tiendo et 5% à Nematoulaye. Ces résultats attestent que la plupart des élevages se sont installés à partir de leurs fonds propres (96%). La pisciculture est pratiquée majoritairement par des hommes (94 %). Dans le cadre de la conduite des activités piscicoles, 49 producteurs se sont groupés en association soit 98 % des enquêtés. Les résultats indiquent que 96 % des pisciculteurs élèvent les clarias et 4%, les tilapias. Les poissons sont nourris avec des aliments importés et fabriqués localement respectivement par 80 % et 20 % des pisciculteurs enquêtés. Dans la zone d'étude, les contraintes mises en évidence sont le prix élevé des intrants et la mortalité des jeunes sujets. Aussi les pisciculteurs restent confrontés à l'approvisionnement en eau (95%), la commercialisation du poisson frais (clarias) (70%) et l'approvisionnement en alevins sur leur site d'activité (60%). Ces problèmes une fois endigués, cette activité pourra constituer une véritable source de revenus et contribuer ainsi à la sécurité alimentaire de la population de la commune de Kaladougou.

Mots clés : Sécurité alimentaire, pisciculture, Dioila, Mali.

INTRODUCTION

Le Mali est un vaste pays sahélien qui couvre une superficie de 1 241 238 km² dont près de 60% appartiennent à la zone subsaharienne. La pêche est une source importante de revenus et un enjeu pour la sécurité alimentaire des populations maliennes. Elle s'exerce sur pratiquement toutes les collections d'eau du territoire national : lacs, mares et les deux grands fleuves qui sont le Niger (1.700 km) et le Sénégal (900 km). La consommation de poisson est estimée à environ 5,4 kg/an/hbt, alors que celle de la viande est de l'ordre de 4,7 kg/an/hbt (FAO, 2005). Le poisson séché constitue la principale source de protéine accessible par les ménages très pauvres. On y trouve tous les prix accessibles aux ménages les plus démunis (Cathala & Zerbo, 2019). Selon la même source, en plus du poisson issu de la pêche artisanale dans les fleuves (85% de la production), leurs affluents et les plaines d'inondation, on note celle du poisson des retenues d'eau, empoissonnées dans le cadre d'une pisciculture extensive (environ 15% des captures). Malgré ces sources d'exploitation, la production halieutique se fait de plus en plus faible par rapport à la demande des populations. Cette rareté fait suite au déficit pluviométrique, au colmatage du lit des cours d'eau et aux techniques de pêche inappropriées.

L'aquaculture et plus particulièrement la pisciculture se présente comme une alternative capable de combler le manque de poissons issus des pêches de capture dans les zones où les ressources en eau disponibles constituent des potentialités.

Cependant, cette activité est confrontée à un certain nombre de problèmes à Dioïla, précisément dans la commune de Kaladougou. C'est dans l'optique de contribuer au développement de la pisciculture que nous avons entrepris cette étude sur le thème : « Problématique du développement de la pisciculture dans la commune de Kaladougou».

METHODELOGIE

Site de l'étude

L'étude a été conduite dans le cercle de Dioïla, commune de kaladougou précisément dans les villages de Dioïla ville, Tiendo, Nematoulaye, Fouga, et Wolocoro (figure 1).

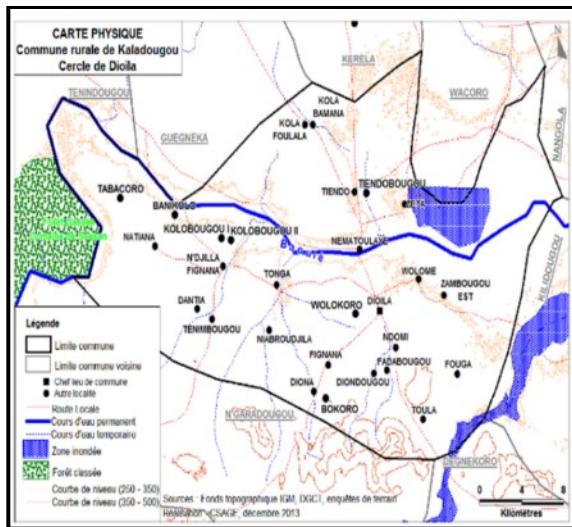


Figure 1: Carte de la commune rurale de Kaladougou.

Méthodes

Une méthodologie d'enquêtes systématiques semi-directives par interview individuel au sein des ménages a été adoptée. Les ménages ont été choisis en utilisant la méthode « boule de neige ». L'enquête a été réalisée auprès de 50 élevages piscicoles privés et en activité pendant une période de 3 mois (juin, juillet et août, 2023). Les populations ont participé de manière libre et volontaire, conformément à la méthode utilisée. L'enquête par questionnaire a permis d'étudier la typologie des acteurs, la localisation des élevages, les espèces élevées, la transformation et commercialisation du poisson. Elle a été complétée d'une discussion de groupe (focus group discussions, FGD), réalisé dans chaque village. Les FGDs ont été facilités par un guide d'entretien comportant les paramètres suivants : (i) les caractéristiques socioprofessionnelles du groupe, (ii) les problèmes de développement de la pisciculture (iii) la gestion du poisson produit en pisciculture. L'échantillonnage s'est fondé sur une liste du secteur de la pêche de Dioila. La conduite de la collecte des données s'est introduite par un test auprès de deux élevages en vue d'une validation des outils de l'enquête. Ceci a permis enquêter d'autres pisciculteurs qui ne figurent pas sur la liste du secteur pêche de Dioila.

Le logiciel Microsoft Excel 2019 a servi à faire la saisie et le traitement des données brutes des variables qualitatives et quantitatives. Ensuite, il a servi à l'établissement des graphiques et des tableaux.

RESULTATS ET DISCUSSION

Sexe des promoteurs (%) des élevages piscicoles

Le tableau 1 présente le sexe des promoteurs des élevages piscicoles enquêtés dans la commune de Kaladougou. Il montre que la pisciculture est pratiquée par 94% des hommes, contre 6% de

femmes. Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par (Yao et al., 2017) en Côte d'Ivoire et (Matudika, 2020) dans le secteur de Kwilu-Kimbata en République Démocratique de Congo et (Diarra, 2023) dans la région de Segou au Mali. Dans leurs travaux respectifs, ils ont montré que la pisciculture était majoritairement effectuée par les hommes, avec pour fréquences respectives 94% 73% et 80%. Cet état de fait montre une faible intervention des femmes dans le sous-secteur de la pisciculture.

Tableau 1: La répartition des pisciculteurs par genre dans la commune de Kaladougou

Genre	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Homme	47	94
Femme	3	6
Total	50	100

Organisation socioprofessionnelle des pisciculteurs dans la commune de Kaladougou

Les données collectées sur le regroupement en associatif des pisciculteurs sont portées dans le tableau 2.

Tableau 2: Appartenance des pisciculteurs à une association.

Associations	Nombre de personnes	Pourcentage
Sans association	1	2(%)
Membre d'une association	49	98(%)
Total	50	100(%)

Tableau 3: Espèces élevées dans les élevages piscicoles de la commune de Kaladougou

Espèce	Nombre de personnes	Pourcentage
<i>Clarias gariepinus</i>	48	96(%)
<i>Oreochromis niloticus</i>	2	4(%)
Total	50	100(%)

Ainsi, le tableau 2 montre que 98% des pisciculteurs enquêtés sont membres d'une association.

Espèces élevées dans les élevages piscicoles

Le tilapia (*Oreochromis niloticus*) et le silure (*Clarias gariepinus*) sont les deux espèces élevées par les pisciculteurs enquêtés dans la commune de Kaladougou (tableau 3).

Nous constatons que l'espèce *Clarias gariepinus* est élevée par la plupart des pisciculteurs (96%) ; seulement 4% d'entre eux élèvent *Oreochromis niloticus*.

Problèmes du développement de la pisciculture dans la commune de Kaladougou

Les différents problèmes du développement de la pisciculture en fonction des villages d'étude sont portés dans le tableau n°4.

Les données montrent la variabilité de la récurrence des problèmes d'un village à l'autre. Cette récurrence s'exprime dans la fourchette de 60 % (Approvisionnement en alevins) à 95% (Approvisionnement en Eau d'élevage). Selon les producteurs piscicoles, les causes de ces problèmes sont d'ordre économique (80 %), matériel (12%), et le manque de moyen techniques (8%) (tableau 5).

Répartition des pisciculteurs selon la source de financement

Nous constatons que dans le cadre des activités de la pisciculture, 96% utilisent leur fonds propre. Seulement 4% tirent leur financement des banques et caisses d'épargne (tableau 6). L'investissement occupe une place importante dans le développement de la pisciculture. Dans la commune de Kaladougou, l'activité génératrice de revenus est l'agriculture qui est tributaire des aléas climatiques. Cependant, pour entreprendre toute autre activité, les producteurs puisent sur les revenus de l'agriculture, autrement dit sur fonds propre (tableau 6). L'investissement se

Tableau 4: Problèmes du développement de la pisciculture en fonction des villages d'étude

Villages d'étude	Alimentation des poissons	Approvisionnement en alevins	Problèmes en %		
			Approvisionnement en eau des élevages	Commercialisation des poissons	Transformation des poissons
Tiendo	90	5	1	4	2
Wolocoro	2	60	1	9	2
Dioïla ville	5	25	95	12	5
Fouga	2	6	2	70	1
Nematoulaye	1	4	1	5	90
Total	100	100	100	100	100

Tableau 5: Causes des problèmes du développement de la pisciculture dans la commune de Kaladougou

Causes	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Économiques	40	80
Matériels	6	12
Techniques	4	8
Total	50	100

Tableau 6: Sources de financement des pisciculteurs enquêtés

Source de financement	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Banque/Caisse épargne	2	4
Fonds propre	48	96
Total	50	100

Tableau 7: Type d'aliment utilisé dans les élevages piscicoles

Type	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Importé	40	80
Local	10	20
Total	50	100

veut capital pour le développement de la pisciculture, donc un vrai souci pour le développement de l'activité dans la zone d'étude. La répartition des fonds des investissements selon les postes de dépenses sont présentées sur la figure 2.

Nous constatons que 50% des fonds sont alloués à l'achat des aliments, 30% à l'achat d'alevins et 20% aux frais de construction (ou achat) des infrastructures. Nous pouvons conclure que pour la bonne pratique de la pisciculture, il serait indispensable d'avoir un fonds d'investissement conséquent sinon une source de financement des activités.

Types d'aliment utilisé

Le tableau 7 nous donne la physionomie des types d'aliments utilisés dans la commune de Kaladougou. Le tableau nous renseigne que 80% des élevages utilisent l'aliment importé contre 20% pour l'aliment local

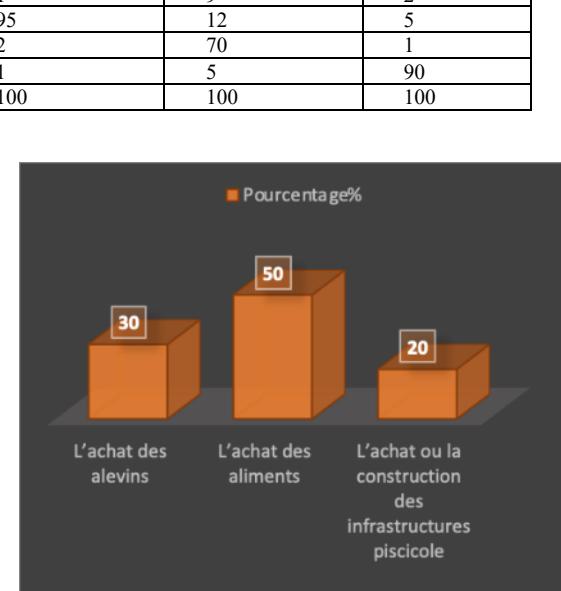


Figure 2: Répartition des fonds de l'investissement selon les postes de dépense.

Tableau 8: Type d'aliment utilisé dans les élevages piscicoles

Type	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Importé	40	80
Local	10	20
Total	50	100

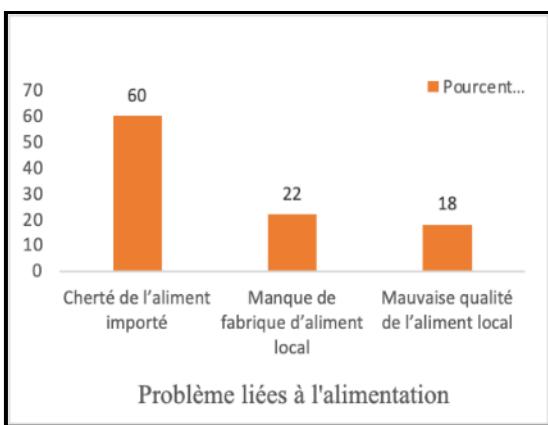


Figure 3: Problèmes liés à l'alimentation

Les problèmes liés à l'alimentation

Les problèmes liés à l'alimentation des poissons à Dioila sont portés sur la figure 3 ci-dessus.

Nous remarquons que 60% des pisciculteurs enquêtés se plaignent de la cherté des aliments, contre 22% du manque de fabrique d'aliment et 18% de la mauvaise qualité de l'aliment local. La cherté de l'aliment exprimée par les pisciculteurs s'expliquerait par l'inexistence d'unité de fabrique d'aliment dans la zone. Les aliments locaux utilisés dans la production ne donnent pas toujours de bonne performance. Ce qui incite les pisciculteurs à s'approvisionner en aliment importé à partir de Bamako à des coûts élevés puis payer les frais de transport. Le prix de revient de l'aliment importé et sa qualité nutritionnelle sont donc des facteurs qui entraînent sérieusement la rentabilité de la pisciculture dans la zone.

Difficultés pour l'approvisionnement en eau

La figure 4 renseigne sur les difficultés d'approvisionnement en eau.

L'approvisionnement des infrastructures en eau (étangs, bassins, bacs hors sols, cage flottante) est fortement lié à la hausse du prix des carburants pour les pompes ; 60% des pisciculteurs ont ce problème ; 22% des pisciculteurs manquent de moyens pour creuser un forage et 18% des pisciculteurs souffrent à cause de l'ensablement. Une alimentation en eau continue est requise, non seulement pour remplir l'étang, mais aussi pour compenser les pertes causées par l'infiltration et l'évaporation. Il est très important d'examiner les sources d'eau disponibles avant le démarrage de toute production piscicole.

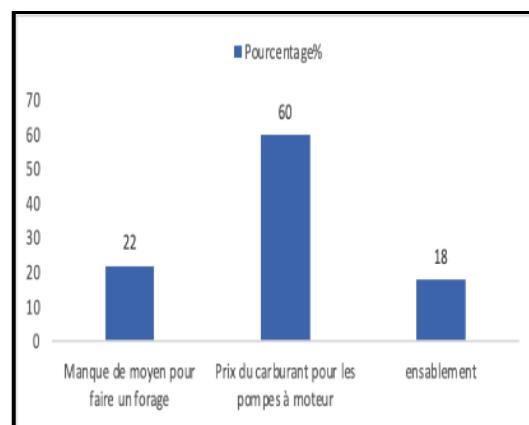


Figure 4: Difficultés d'approvisionnement en eau.

Problèmes liés à l'approvisionnement des pisciculteurs en alevins

Le tableau 8 présente les sources d'approvisionnement en alevins des élevages piscicoles enquêtés.

Tableau 9: Sources d'acquisition des alevins

Provenance	Nombre de personnes	Pourcentage (%)
Écloserie	47	94
Pêcheurs	2	4
Source douteuse	1	2
Total	50	100

Il apparaît que 94% des élevages s'approvisionnent en alevin auprès des écloseries, 4% auprès des pêcheurs tandis que 2 % payent des alevins de sources douteuses. La zone de Dioila ne disposant pas d'écloserie, les alevins sont commandés dans les périphéries de Bamako (Banguineda, Sybi, ...). Vu la longue distance et la durée du trajet qui sépare Dioila de ces zones d'approvisionnement, les alevins arrivent à destination très épuisés. Ils sont stressés. Le stress et les chocs subis au cours du trajet impactent négativement sur la croissance, le taux de survie la production et donc la productivité. Les alevins payés auprès des pêcheurs, ont un temps d'adaptation plus étalé. Ils ne sont pas homogènes de taille, mettent plus de temps (8-9 mois) en production avant d'atteindre la taille marchande 200-300g. Quant aux alevins tout venants, leur identification est compliquée par les non techniciens, ce qui rend leur élevage compliqué par les pisciculteurs.

Problèmes liés à la transformation des poissons

La figure 5 présente les problèmes liés à la transformation des poissons dans la commune de Kaladougou. Nous constatons que 50 % des personnes enquêtées manquent de matériel de transformation, 30%, ne maîtrisent pas les techniques de transformation, et 20 % ne disposent pas de produits de qualité pour la conservation. Les producteurs n'ayant pas bénéficiés de formation sur la transformation des produits de la pisciculture, les

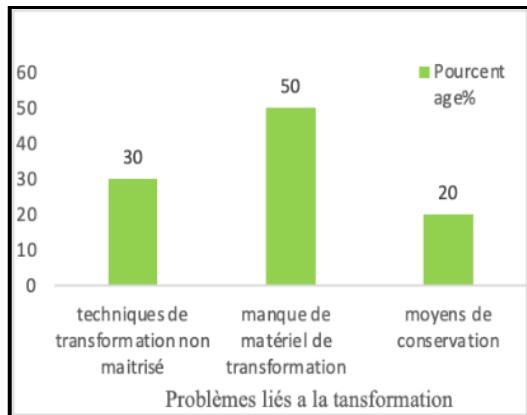


Figure 5: problèmes liés à la transformation des poissons

poissons fumés dans la plupart des cas, restent de moindre qualité. Les transformateurs attribuent cette qualité réduite au manque de matériels adéquats (séchoir, fumoir...).

Problèmes de la commercialisation des poissons

Le tableau 9 montre les résultats des problèmes liés à la commercialisation du poisson d'élevage dans la commune de Kaladougou. Il indique que 76% de leur problème est du à l'inexistence de marché à poisson à Dioïla, 14% de mévente dû au manque d'argent et les 10% sont liés au choix des consommateurs.

Tableau 10: Commercialisation du poisson de pisciculture

Problèmes	Nombre	Pourcentage (%)
Inexistance de marché à poisson	38	76
Choix des consommateurs	5	10
Pauvreté	7	14
Total	50	100

Le jour de foire hebdomadaire de Dioïla, le marché est inondé de poissons transformés venant des grandes villes (Mopti, Segou, ...). Ce qui crée une concurrence avec la production locale. Ces poissons fumés et séchés d'ailleurs sont de meilleures qualités organoleptiques (couleur et goût). Ainsi, les pisciculteurs locaux sont confrontés à des difficultés pour l'écoulement de leurs produits finis de moindre qualité.

CONCLUSION

Cette étude a identifié les problèmes du développement de la pisciculture dans la commune de Kaladougou. Les difficultés rencontrées selon les pisciculteurs sont : le prix élevé des intrants piscicoles ; la rupture de l'aliment sur le marché ; le manque de financement ; la difficulté d'écoulement du silure de pisciculture ; la non-maitrise de l'activité ; la mortalité des alevins.

La prise en compte des différents problèmes recensés en fonction des sites pourra contribuer au développement de la pisciculture dans la commune de Kaladougou.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Cathala, H. et Zerbo, H. (2019). Projet de rapport final Revue à mi-parcours « Projet d'appui à la filière halieutique (PAFHa) au Mali ». 69.

Diarra, M. (2023). Caractérisation des élevages piscicoles du bassin de production du Cercle de Ségou, Région de Ségou (Centre du Mali). (p.84) [Mémoire de fin cycle].

FAO, 2005. Évaluation de la contribution socio-économique de la pêche au PIB et au développement rural au Mali.https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/sflp/SFLP_publications/French/Contribution_peche_Mali_juin05.pdf

Matudika, A. L. (2020). Impact socio-économique de la pisciculture paysanne dans le secteur Kwilu-kimbeta. *Éducation et développement*, 24, Article 24.

Yao, H. A., Koumi, R. A., Atse, C. B., & Kouamelan, P. E. (2017). *Etat des connaissances sur la pisciculture en Côte d'Ivoire | Agronomie Africaine*. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/164967>.

Prévention et Traitement en Station de la Maladie de Gumboro avec l'Usage du Jaune d'œuf Hyper Immun au Mali

Fousseyni SIDIBE^{*1}, Martin DAKOUO², Ahmadou N. SOW¹, Amadou DOUMBIA¹, Fatoumata SAMAKE¹, Maïmouna TOURE¹ et Mamadou M. DIARRA¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou

²Laboratoire Central Vétérinaire de Bamako

* Courriel de l'auteur de correspondance : sidibefouss11@gmail.com;

RÉSUMÉ : Au Mali, l'aviculture est confrontée à de nombreuses contraintes sanitaires qui limitent la productivité des effectifs et compromettent sa valorisation. Parmi ces contraintes figurent la maladie de Gumboro qui est l'une des principales causes de mortalités élevées en aviculture moderne au Mali. Les possibilités d'utilisation d'anticorps de jaune d'œufs hyper immun (IgY) pour le traitement de la maladie de Gumboro ont été examinées comme une alternative adaptative. Un lot de 50 poules a été utilisé pour la production de jaune d'œuf hyper immun contre la maladie de Gumboro (MG). Les poules ont été immunisées avec des vaccins commerciaux à Infectious Bursal Disease Virus (IBDV) vivant contre la maladie de Gumboro. Les tests de stérilité et d'innocuité ont été réalisés sur les différents produits du jaune d'œufs hyper immuns après conditionnement. Le titrage des anticorps contre la maladie de Gumboro a été faite par le test ELISA. L'immunisation a donné des titres élevés d'anticorps spécifique dans le jaune d'œuf à partir de 4 à 8 semaines après l'immunisation initial 10 173. Les jaunes d'œuf après conditionnement ont été répartis dans des flacons de 50 ml et conservés sous congélation après les tests de stérilité. Les tests d'innocuité ont été réalisés sur 10 sujets naïfs. Pour les tests d'efficacité du jaune d'œufs hyper immun, des poussins âgés de 32 jours ont été utilisés. Pour les tests d'efficacité, six groupes ont été constitués dont quatre groupes tests et deux groupes témoins. Les groupes tests et le groupe témoin positif ont été soumis aux épreuves virulentes. Les résultats ont donné un taux de protection moyen de 80%. Pour le traitement des oiseaux malades en station, le taux de guérison a été aussi de 100%. Le prix de production d'une dose de jaune d'œuf hyper immuns est de 16,09 F CFA. Ces résultats montrent que les immunoglobulines Y (IgY) peuvent être produites en grandes quantité et économique, constituant donc une excellente alternative dans le traitement de la maladie de Gumboro. Ainsi, la souffrance des avicultrices et aviculteurs villageois pourra être diminuée.

Mots-clés : Poules, Jaune d'œuf hyper immun, Immunoglobuline Y (IgY) et traitements.

INTRODUCTION

Pays sahélien situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, le Mali couvre une superficie de 1 241 238 km² et reste un pays où l'élevage constitue la principale source de subsistance pour plus de 30% de la population et est crédité de 12% au PIB.

L'aviculture, pratiquée en grande partie par les femmes et surtout les femmes rurales, est considérée comme une activité économique de grande importance avec près de 50 millions de volailles [7]. En 2016, les effectifs de volaille étaient composés de 80% de poulets, 18% de pintades et le reste (2%) des canards, dindons et des pigeons, etc. [8]. Elle a montré des performances croissantes ces dernières années. Les effectifs se répartissent entre le secteur moderne pour 11,32% et le secteur traditionnel pour 88,68% [7]. Le nombre moyen de volailles/habitant serait de 3 sujets.

Le secteur avicole génère des emplois directs et indirects et engendre une masse monétaire estimée à 5 milliards par an à travers les différentes transactions commerciales [8].

Malgré ces potentiels résultats, le sous-secteur de l'élevage au Mali et en particulier l'aviculture villageoise n'a pas été à hauteur des ambitions affichées car, de nombreuses contraintes limitent la productivité des effectifs et compromettent sa valorisation par les avicultrices/avicultrices. Parmi ces contraintes figurent la maladie de Gumboro.

La maladie de Gumboro (MG) ou Bursite infectieuse, est de plus en plus la maladie virale des volailles la plus fréquente après la maladie de Newcastle. Elle constitue le premier problème pathologique dans les élevages semi-intensifs et elle entraîne une morbidité qui varie de 20 à 100% [4] et des taux de mortalité variant de 9 à 40% selon les localités [3]. Selon une étude récente menée au Mali, la persistance de la maladie de Gumboro dans les élevages modernes malgré la vaccination des oiseaux serait due à l'existence de souches hypervirulentes [20]. Il faut cependant noter qu'avec le souci d'améliorer nos races locales avec l'utilisation des coqs des races exotiques (Rhodes Islandes, Brama, etc.), la maladie de Gumboro est de plus en plus fréquente en aviculture villageoise. Les avicultrices

au Mali appellent cette maladie « Tchunkan » un mot en langue nationale bamanankan qui veut dire « brutale ».

Des vaccins développés depuis plusieurs décennies assurent normalement une excellente protection clinique. Toutefois, depuis une dizaine d'années, des observations de terrain en Afrique et en Asie font état d'échecs partiels de vaccination avec occurrence de foyers réduits dans des élevages a priori correctement vaccinés ([11] ; [16] ; [23]). Selon [13], la vaccination ne protège les volailles que contre les plus graves lésions (conséquences) provoquées par le virus, tandis que la réPLICATION peut toujours se poursuivre sur certains sites mais à une échelle plus réduite.

Ainsi les immunoglobulines du jaune d'œuf ou IgY (anticorps du jaune d'œuf) obtenus à partir d'hyper immunisation des poules pondeuses contre l'entité pathologique de la maladie de Gumboro peut être utilisée comme un moyen de traitement lors d'apparition de foyers d'épidémies afin de diminuer les pertes économiques liées aux taux de morbidité et de mortalité très élevés.

Ce mode de traitement est une immunothérapie (sérothérapie) qui vise à neutraliser le virus, empêchant ainsi sa réPLICATION et sa diffusion au sein de l'organisme, et à alerter le système immunitaire de la présence d'une substance étrangère, permettant ensuite l'élimination du pathogène par celui-ci à travers l'acquisition d'une immunité active.

Les protocoles de l'hyper immunisation des poules, les avantages de la technologie IgY, les protocoles de production d'anticorps ou d'immunoglobulines du jaune d'œuf (IgY), l'extraction et les effets des IgY et l'utilisation des IgY dans le diagnostic ont fait l'objet de nombreuses publications ([14] ; [17] ; [21]).

La technologie IgY peut être utilisée à des fins de diagnostic [10] et d'immunisation passive de diverses espèces animales vis-à-vis de virus et bactéries [21].

En médecine vétérinaire, des stratégies d'immunisation des poulets avec les anticorps du jaune d'œuf ont été développées en vue d'une lutte contre les maladies entériques dues à *Salmonella Enteritidis* et *Typhimurium*, *Campylobacter* ([5] ; [6] ; [18]). Les anticorps du jaune d'œuf ont été également utilisés contre la parvovirose canine S [12]. En Chine des études ont été effectuées sur l'utilisation du jaune d'œuf hyper immun dans la prévention et le traitement de la maladie de Gumboro ([15], [24], [27] et [28]).

La voie d'administration orale des immunoglobulines de jaune d'œuf de poule (IgY) a attiré une attention considérable en tant que moyen de contrôler les maladies infectieuses d'origine bactérienne et virale ([26]). Outre son avantage thérapeutique, l'incorporation du jaune d'œufs dans

la ration des volailles est bénéfique pour le système immunitaire et pour le développement et la croissance des animaux ([17] ; [19] cité par [17]).

Cette méthode de production d'anticorps est simple, rapide et économique car elle ne nécessite pas de purification de l'IgY.

L'utilisation des IgY est une technologie nouvelle émergente très peu utilisée en Afrique. On peut cependant signaler son utilisation en Ouganda pour le diagnostic de la peste porcine africaine [1] ainsi qu'en Afrique du sud pour le diagnostic de la horse sickness virus [9].

L'utilisation de la technologie IgY gagnerait à être étudiée et développée au Mali et dans la sous-région pour contrôler la maladie virale de Gumboro qui sévit au sein de l'élevage de volailles modernes.

Le contrôle de la maladie de Gumboro est un enjeu majeur dans la production des poulets modernes et présente des défis particuliers pour les producteurs de volaille et les services vétérinaires. Il n'existe aucun traitement conventionnel de cette maladie et dans les cas de prophylaxie médicale, les échecs de vaccination sont quelques fois notés. A tout cela il faut ajouter l'inexistence de politique nationale claire ou affichée de lutte contre les pathologies aviaires en général et contre les pathologies aviaires dominantes en particulier parmi lesquels figure la maladie de Gumboro.

Pour résoudre la problématique, notre étude se propose de développer une stratégie de contrôle de cette maladie virale en utilisant la technologie de production d'œufs hyper immuns (IgY) comme un traitement de soutien peu coûteux dans les cas d'apparition de foyers d'épidémie. Le but recherché sera l'obtention de bénéfices prophylactiques et thérapeutiques significatifs lors de l'exposition infectieuse des oiseaux.

MATERIELS ET METHODES

Matériel animal

Le matériel animal est représenté par des poules de race Leghorn. Trois bandes ont été constituées pour :

- a. la production d'œufs ;
- b. les tests de contrôle de qualité et épreuves d'efficacité ;
- c. les épreuves de traitements.

La bande de pondeuses utilisée pour la production d'œufs comporte 60 poussins d'un jour acquis dans des couvoirs locaux.

Une seconde bande constituée de 110 futures pondeuses a servi pour les tests de contrôle de qualité et les épreuves d'efficacité.

Une troisième bande constituée de 20 poulets âgés de 40 jours a servie pour les épreuves de traitements.

Élevage des pondeuses

La conduite de l'élevage des poules pondeuses destinées à la production des œufs hyper immuns s'est déroulée dans une concession rurale à Kanadjiguila. Les poussins ont été élevés sur la litière à une densité de 30 poussins/m² au démarrage et 7 sujets/m² en finition. Une attention particulière a été accordée à l'alimentation, l'eau d'abreuvement et à la biosécurité.

Les poussins ont été nourris avec les aliments volaille démarrage et complet Bunafama pour pondeuses des Grands Moulins du Mali. Un examen régulier des sites d'élevage a été effectué afin de suivre l'état de santé des oiseaux et d'évaluer d'éventuelles mesures de contrôle.

Le programme de vaccination réalisé contre la maladie de Gumboro a été : primo vaccination et rappel respectivement au 10^{ème} et au 25^{ème} jour d'âge avec la souche vaccinale Winterfield 2512 dans l'eau de boisson à 0,3% de lait frais ;

Les oiseaux ont subi au besoin des traitements antibiotiques et anticoccidiens. Ils ont été déparasités tous les 3 mois et débecqués chaque fois au besoin.

Production d'œufs hyper immuns

Pour la production des œufs hyper immuns, les pondeuses ont été hyperimmunisées contre la maladie de Gumboro selon le protocole suivant :

- 60 pondeuses Leghorn âgées de 20 semaines ont été choisies ;
- La vaccination par voie orale avec le vaccin vivant à raison de 1 ml/poule a été faite ;
- Deux semaines après, quatre rappels par voie orale avec le vaccin vivant à raison de 2-3 ml/poule ont été faits ;
- 15 jours après le dernier rappel, les œufs ont été collectés pour le titrage des anticorps IgY.

Préparation du jaune d'œuf

La préparation du jaune d'œuf a été faite selon le mode opératoire suivant :

- Les œufs hyper immuns ont été plongés dans une solution de chloramine B à 0,1% pendant cinq (5) minutes en les nettoyants proprement et ont été laissés sécher ;
- Les œufs ont été désinfectés avec du coton imbibé d'alcool à 70° ;
- Après séchage, il a été procédé à la séparation manuelle du jaune d'œuf et du blanc dans un récipient propre et stérile ;
- La quantité du jaune d'œuf obtenue a été diluée dans de l'eau physiologique stérile à volume égal (1 :1) ;

- La pénicilline et la streptomycine ont été ajoutées en raison respectivement de 2000 UI et 2000 µg / ml du fluconazole à 0,25% et ensuite l'homogénéisation a été faite ;
- Des échantillons ont été prélevés pour déterminer le titre des anticorps du jaune d'œufs et procéder aux contrôles de stérilité, de sécurité, d'efficacité et de stabilité ;
- La solution du jaune hyper immun a été répartie dans des flacons à capsule de 20-100 ml et les conserver à froid pour utilisation.

Titrage des anticorps dans les jaunes d'œufs

Le titrage des anticorps au Laboratoire Central Vétérinaire a été réalisé en utilisant le Test Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) indirect.

Le test Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) indirect est un test utilisé pour détecter et quantifier des anticorps spécifiques dans le cadre de dépistage de certaines infections en médecine humaine et vétérinaire. C'est un test qui consiste à capturer des anticorps (IgY) présents dans le jaune d'œufs dans notre cas ou des antigènes en utilisant une immunoglobuline liée à une enzyme qui entraînera un changement de couleur lorsqu'un substrat chromogène spécifique sera ajouté [25]. Ce changement de couleur peut être détecté et quantifié en mesurant la densité optique. Il y a plusieurs types d'ELISA qui ont été développés dont l'ELISA indirect qui est le plus couramment utilisé dont son protocole de mise en œuvre est décrit ci-dessous ; dans tous les cas, les consignes données par le fabricant du kit devraient être suivies.

Protocole de mise en œuvre de l'épreuve ELISA indirect :

- Les plaques de 96 trous ont été sensibilisées pendant une heure à 37°C puis une nuit à 4°C avec l'antigène « positif » et l'antigène « négatif » (disposés respectivement dans les colonnes impaires et paires) ;
- 100 µl ont été ajoutés à différentes dilutions de l'anticorps du jaune d'œuf et des sérums témoins (positifs et négatifs dans les trous destinés à cet effet) ;
- La plaque a été incubée à 37°C pendant une heure ;
- La plaque a été lavée avec la solution de lavage (rinçage) cinq fois ;
- 100 µl de la solution de conjugaison ont été ajoutées dans chaque trou et la plaque a été incubée à 37°C pendant une demi-heure.
- La plaque a été lavée comme indiqué ci-dessus ;
- 100 µl de la solution de substrat ont été ajoutées à chacun des trous et la plaque a été incubée à la température ambiante pendant 10 à 15 minutes ;

- 100 µl de la solution d'arrêt ont été ajoutée et la plaque a été lue à une longueur d'onde (405 ou 490 nm).

Conditionnement et conservation du jaune d'œuf hyper-immun

Le jaune d'œuf hyper-immun obtenu a été conditionné. La solution liquide du jaune d'œuf a été homogénéisée et répartie dans des flacons de 50 ml. Les produits ont été conservés à - 20°C.

Contrôle de qualité du jaune d'œuf

Le contrôle de qualité du jaune d'œuf hyper immun a été effectué à travers les épreuves de stérilité et d'innocuité selon le protocole suivant :

Épreuve de stérilité

0,2 ml du produit a été pris et ensemencé sur les milieux de culture Fluid Thioglycollate Medium (FTM) et Tryptic Soy Broth (TSB) et (Gélose ordinaire (milieu d'isolement non-sélectif), Gélose au sang et Gélose Sabouraud (pour la culture des champignons et des moisissures)). Une partie des milieux destinés à la détection des bactéries a été incubée entre 30 - 35°C et une partie de celles destinées à la détection des champignons à 20 - 25°C pendant au moins sept jours.

Épreuve d'innocuité

Dix (10) sujets âgés de 32 jours tous séronégatifs de la maladie de Gumboro ont été pris et 4 ml du jaune d'œuf hyper immun ont été injectées en plusieurs points ; une observation a été faite pendant dix (10) jours.

Tests d'efficacité du produit en station

L'efficacité préventive et thérapeutique du produit (solution du jaune d'œuf) contre la maladie de Gumboro a été testée selon ce qui suit :

Épreuve d'efficacité

Trente (30) poussins âgés de 38 jours bien portants non vaccinés contre la MG et séronégatifs repartis en six groupes de 5 sujets ont été choisis :

- Groupe A : les poussins ont reçu chacun 0,2 ml 10^5 de la dose minimale mortelle (DMM) sur l'œuf embryonnaire de la souche virulente et 1 ml du produit en intrant musculaire.
- Groupes B, C et D : il a été inoculé 0,2 ml 10^5 de la dose minimale mortelle sur l'œuf embryonnaire par poussin de la souche virulente en IM et 24, 48 et 72 heures après 1 ml a été administré par poussin en IM.
- Groupe E : il a été inoculé en IM uniquement 0,2 ml 10^5 de la DMM sur l'œuf embryonnaire par poussin du virus virulent.
- Groupe F : il constitue le groupe témoin négatif qui n'a reçu ni inoculation du virus ni traitement en jaune d'œuf hyper immun contre Gumboro.

Quatorze (14) jours après le titre des anticorps des survivants a été déterminé.

Traitements des oiseaux malades de Gumboro en station

- Dix (10) sujets âgés de 40 jours ont été mis en contact avec les sujets du groupe E. Le 5^{ème} jour, les oiseaux ont commencé à avoir le plumage ébouriffé, blottis dans l'angle avec une diarrhée blanchâtre se piquant souvent le cloaque, ne mangeant pas, mais le bec ne quittait pas l'abreuvoir.
- Après l'apparition des symptômes, les sujets ont été répartis en deux lots de cinq (5) sujets. Le 1^{er} lot a subi le traitement dès le premier jour après l'apparition des symptômes en raison de 1 ml du jaune d'œuf hyper immun contre Gumboro par sujet. Le deuxième lot a subi le traitement deux jours après l'apparition des symptômes en raison de 1 ml de jaune de jaune d'œufs hyper immun.

Bases de calcul de l'efficacité économique de l'utilisation du jaune d'œufs

Une évaluation du coût/efficacité économique a été faite qui représente le type d'analyse utilisée le plus couramment en économie de la santé pour évaluer l'efficacité d'un traitement ([2]).

Cette analyse a permis d'établir un ratio entre les coûts de la thérapeutique et de l'action de prévention (exprimés en unité monétaire) et ses conséquences à travers l'évaluation de l'effet protecteur du produit hyper immun.

Les paramètres à considérer seront :

- Le coût de traitement : coût de production d'un œuf hyper immun, coût d'une dose du produit hyper immun et prestations ;
- L'effet protecteur du produit hyper immun sera exprimé en nombre de vies sauvées, en nombre de cas de maladies guéries ou évitées.

Traitement statistique des données

Les données de titrage des anticorps dans le jaune d'œuf, de contrôle de qualité, des tests d'efficacité du produit conditionné ont été analysées et visualisées en utilisant le logiciel tableur Microsoft Excel.

RESULTATS

Les résultats des tests sont présentés comme suit ci-dessous.

Test de stérilité

Tous les lots de jaune d'œuf hyper immun produits se sont révélés stériles à l'issu des tests de stérilité.

Test d'innocuité

Tous les 10 sujets inoculés avec les différents lots de jaune d'œufs hyper immuns sont tous restés vivants et bien portants.

Titrage des anticorps du jaune d'œuf hyper immun par ELISA

Les titres des anticorps du jaune d'œuf hyper immun contre la maladie de Gumboro sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1: Titre des anticorps du jaune d'œuf hyper immuns contre la maladie de Gumboro

Niveau de Vaccination Vaccin utilisé	Néant	Après 1er vaccin IBDL	Après 2 ^e vaccin IBDL	après 3 ^e vaccin IBDL	S-1 après boost IBDL	S-2-3 après boost IBDL
Dilution						
½	2496	4382	5000	6295	8235	10173
¼	1248	2191	2500	3147,5	4117,5	5086,5
1/8	624	1095,5	1250	1573,75	2058,75	2543,25
1/16	312	547,75	625	786,875	1029,38	1271,63
1/32	156	273,88	312,5	115	514,69	635,81
1/64	78	136,94	156,25	57,5	257,34	317,91
1/128	39	68,47	78,13	66	128,67	158,95
1/256	19,5	34,23	39,06	33	64,34	79,48

Les courbes d'évolution des titres d'anticorps contre la maladie de Gumboro au cours des différentes vaccinations sont présentées dans la figure 1 ci-dessous.

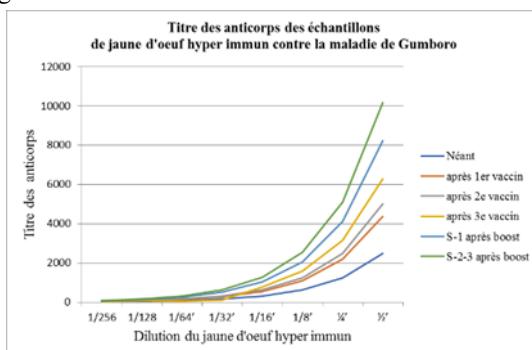


Figure 1 : Courbes d'évolution des titres d'anticorps contre la maladie de Gumboro au cours des différentes vaccinations

Le seuil de positivité du titre des anticorps contre la maladie de Gumboro est de **875**. Toutes les courbes de dilution dépassant le seuil de positivité ont été considérés comme positives.

Test d'efficacité

Les résultats des tests d'efficacités sont donnés par groupe comme suit :

- Groupe A :** 5/5 de sujets vivant d'où 100% de protection ;
- Groupe B :** 5/5 de sujets vivant d'où 100% de protection ;
- Groupe C :** 3/5 de sujets vivant d'où 60% de protection ;

- Groupe D :** 1/5 de sujets vivant d'où 20% de protection ;
- Groupe E :** 0/5 de sujet vivant d'où 0% de protection ;
- Groupe F :** 10/10 sujets sont restés tous vivants et bien portants.

Les mortalités dans les différents lots après l'épreuve virulente de Gumboro sont présentées dans la Figure 2 ci-dessous.

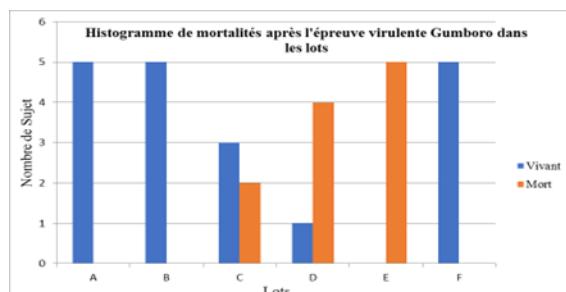


Figure 2 : Mortalité dans les différents lots après l'épreuve virulente de Gumboro

Deux (02) semaines après l'inoculation des sujets, le sang des survivants a été prélevé. Le titre des anticorps a été déterminé à partir du test ELISA. Le titre était de 1 203 pour le groupe A ; 3 674 pour le groupe B ; 6 380 pour le groupe C et 10 750 pour le groupe D.

Traitement en station contre la maladie de Gumboro

Les cinq (5) sujets du 1^{er} lot traités avec 1 ml du jaune d'œuf hyper immun contre Gumboro se sont tous remis de leur maladie. Dans le 2^{ème} lot, 2/5 sujets se sont rétablis. Les 3 autres sujets restants du 2^{ème} lot ont subi un autre traitement le lendemain en raison de 1 ml du jaune d'œuf hyper immun contre Gumboro. Ces derniers sujets se sont rétablis 2 jours après ce dernier traitement.

Calcul d'efficacité économique du jaune d'œufs hyper immun

Les résultats d'efficacité économique de 40 ml de jaune d'œuf hyper immun sont dans le tableau 2.

Le prix de production d'une dose de jaune d'œuf hyper immuns est de 16,09 F CFA. L'effet protecteur du produit hyper immun sera exprimé en nombre de

Tableau 2 : Evaluation économique du jaune d'œuf hyper immun

Intrant	Prix unitaire (F CFA)	Quantité	Montant (F CFA)
Œuf	100	1	100
Pénicilline (ml)	0,2	40	8
Gentamincine (ml)	1,75	40	70
Fluconazole (ml)	2	40	80
Manœuvre	285,71	1	286
Flacon de 50 ml	100	1	100
Total			644

vies sauvées, en nombre de cas de maladies guéries ou évitées.

DISCUSSION

Les bonnes pratiques de laboratoire ont permis d'obtenir des solutions de jaune d'œufs hyper immun stériles qui sont bien conservées à - 20°C. Les résultats des tests d'innocuité des solutions de jaune d'œuf hyper immun ont été concluants. Ces résultats d'innocuité dénotent que lesdites solutions sont inoffensives chez les sujets sur lesquels elles ont été inoculées. L'importance des anticorps précipitants (témoins de la maladie de Gumboro), ainsi que les antigènes déterminés à travers les tests ELISA indiquent un fort titre dans les solutions de jaune d'œuf hyper immun.

Les bons titres ont contribué à protéger les sujets contre l'épreuve virulente. Dans les cas où le titre des anticorps était faible, la protection n'a pas été suffisante pour protéger les sujets contre l'épreuve virulente (au-dessous du seuil de protection 875). La maladie de Gumboro étant une maladie immunodépressive, les cas de mortalités ont été surtout observées dans les groupes où le traitement a été fait 3 jours après l'infection. Certainement, le virus s'était déjà suffisamment multiplié dans l'organisme et affecté le système immunitaire du poulet. Ainsi, le traitement n'a pas pu suffire pour guérir ces sujets. Si non, dans tous les autres cas où le traitement est arrivé au bon moment, les sujets se sont remis de la maladie. Il a été démontré que les oiseaux dont le statut immunitaire est suffisamment fort pour empêcher l'apparition de signes cliniques peuvent toujours excréter des virus virulents. En plus, les oiseaux immunodéprimés sont les plus sensibles à la virulence des virus et excrètent une plus grande quantité de virus après guérison et réagissent moins à la vaccination [22].

Le produit de jaune d'œuf hyper immun proposé ici aux avicultrices/eurs pourra leur redonner le goût de leurs activités en diminuant considérablement les pertes que la maladie de Gumboro engendre d'habitude dans leurs exploitations. Ce jaune d'œufs hyper immuns est une solution alternative pour lutter contre la maladie de Gumboro surtout pour les avicultrices/eurs villageois compte tenu de son coût très abordable et de sa facilité de production.

Pour améliorer le contrôle de la maladie de Gumboro, une meilleure compréhension du système immunitaire est recommandée. Le système immunitaire est d'ailleurs tributaire au régime d'immunisation et de ses effets sur la transmission du virus. Une fonction majeure de l'immunité humorale est la protection contre les signes cliniques causés par l'infection à travers les souches de virus virulents. De nombreuses variétés de leucocytes se rependent de sur le site de vaccination qui pourraient être responsables du processus de production des antigènes et de la production des anticorps et des cytokines antivirales. Il est donc intéressant

d'investiguer sur la production des cellules cytokines au niveau des sites d'inoculation des virus de la maladie de Gumboro.

L'utilisation du jaune d'œuf hyper immun en médecine vétérinaire dans le traitement des maladies animales est couramment faite en Chine. Tous les auteurs dans leur majorité ont expérimenté leurs produits directement lors d'apparition de foyers.

Les résultats du test d'efficacité révèlent que les traitements effectués simultanément et 24 heures après l'inoculation du virus ont un taux de protection de 100%. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par [28]. Dans les groupes C et D, le taux de protection a été respectivement de 60% et 20%. Ces taux de protection relativement faibles pour les groupes C et D dénotent un titre faible d'immunoglobuline Y (IgY). C'est aussi un questionnement sur le moment propice pour le traitement.

Quatorze jours après l'inoculation du virus, les titres des anticorps au test ELISA étaient de 1 203 pour le groupe A, 3 674 pour le groupe B, 6 380 pour le groupe C et 10 750 pour le groupe D. Ces différents titres prouvent que les oiseaux ont été infectés. Cela confirme l'efficacité du jaune d'œuf hyper immun à protéger les sujets contre la maladie de Gumboro. Le taux de guérison de 100% enregistré lors du traitement des oiseaux malades en station confirme cette efficacité. Néanmoins, il a été souvent nécessaire de faire un deuxième traitement à cause d'un faible titre d'immunoglobuline Y (IgY) ou du manque de connaissance du moment propice pour le traitement.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'avoir de nouvelles connaissances scientifiques par rapport à la maladie de Gumboro. Le jaune d'œuf hyper immun est une alternative pour aider les avicultrices/eurs à lutter contre la maladie de Gumboro dans leurs élevages en diminuant les taux de morbidité et de mortalité. Cela permettra d'augmenter considérablement leur production et leurs revenus. La production de protéines d'origines animales permettra d'améliorer leur niveau de vie et le bien-être de la population.

Les nouveaux produits obtenus vont permettre aux mandataires, pharmaciens et cliniciens vétérinaires d'augmenter leur compétence en termes de prévention et de traitement dans le contrôle de la maladie de Gumboro et par conséquent, une amélioration de leurs revenus.

Dans les perspectives, les tests d'immunodiffusion sur gélose se feront. Il en sera de même pour les tests d'efficacité en milieu réel au près des avicultrices et aviculteurs. Après ces résultats, une vulgarisation est prévue pour une meilleure adoption de la

technologie. La détermination des doses et la fréquence en fonction de l'évolution de la maladie sera faite dans le cadre d'autres travaux.

La détermination de l'efficacité prophylactique et thérapeutique des œufs hyper-immuns contre la maladie de Gumboro dans le cadre de cette étude a été d'un grand intérêt pour le développement des connaissances de l'équipe de recherche de façon spécifique mais aussi pour les partenaires qui ont participé aux travaux de cette étude. L'utilisation de jaune d'œuf pour la prophylaxie et la thérapie contre la maladie de Gumboro est une première au Mali.

RECOMMANDATIONS

Nous recommandons pour les infections en station, que les traitements soient effectués dès l'apparition des premiers cas de la maladie de Gumboro pour mieux circonscrire l'infection et diminuer les conséquences de la maladie de Gumboro.

En milieu rural, dès l'apparition d'épidémie de la maladie de Gumboro, le produit doit être immédiatement utilisé chez tous les sujets exposés.

Dans le cadre des épidémies de Gumboro, la sérothérapie est importante pour une période de deux semaines. Cette sérothérapie doit être relayée par une vaccination.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent au projet FASAM (Formation Agricole pour la Sécurité Alimentaire au Mali) pour sa contribution financière et technique. Remerciements aux chercheurs de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katioucou et au Laboratoire Central Vétérinaire de Bamako pour leur franche collaboration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Afayao M., Kalenzi Atuhaire D., Ochwo S., Okuni J. B., Kisekka M., Olaho-Mukani W. et Ojok L., 2016. L'application de la protéine anti virale vp73 IgY de la peste porcine africaine extraite du jaune d'œuf de poulet, dans un test d'agglutination à la carte pour le diagnostic sérologique de la peste porcine africaine bull. anim. hth. prod. afr., 64, 7-19.
- Bureau D., Plu-Bureau G. et Thalabard J-C., 1993. L'évaluation économique des traitements médicaux : méthodes et enjeux. Economie et Statistique n° 266,6. (https://www.persee.fr/doc/estat_0336-1454_1993_num_266_1_5768, consulté le 18/11/2018 à 07 h 30 mn.
- Camara M., 2003. Situation de la maladie de Gumboro et de la salmonellose dans les élevages périurbains du Mali. Mémoire DESS Productions animales en régions chaudes. Université de Montpellier 2.
- Cardinale E., Arbelot B., Kaboret Y., Dayon J.F., Biaou C. et Bada Algom O., 1998. La maladie de Gumboro dans les élevages semi-industriels de la région de Dakar Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 51 (4) : 293-296/ Pathologie Infectieuse communication).
- Chalghoumi R., Théwiss A., Beckers Y., Marcq C., Portetelle D. et Schneider YJ., 2009. Adhesion and growth inhibitory effect of chicken egg yolk antibody (IgY) on *Salmonella enterica* serovars Enteritidis and Typhimurium in vitro. Foodborne Pathog. Dis. 6:593-604.
- Diraviam T., Zhao B., Wang Y., Schade R., Michael A. et Zhang X., 2014. Effect of chicken egg yolk antibodies (IgY) against diarrhea in domesticated animals: a systematic review and meta-analysis. May 20;9(5):e97716.
- Direction Nationale des Productions et Industries Animales, 2020. Rapport Annuel 2019. 142 p. pdf
- Direction Nationale des Productions et Industries Animales, 2017. Rapport Annuel 2016. 142 p. pdf
- Du Plessis D.H., Van Wyngaardt W., Romito M., Du Plessis M. and Maree S., 1999. The use of chicken IgY in a double antibody sandwich ELISA for detecting African horse sickness virus. *onderstepoort journal of veterinary research*, 66:25-28.
- Gervelmeyer A., Abu-Ajamijeh H., Bani-Younis E., Anasweh O., Bzour N., Akasheh R., Clausen P.-H. Staak C. et Montreal G., 1998. Production of virus specific egg yolk antibodies for the diagnosis of Newcastle disease, infectious bronchitis and Gumboro disease by the direct fluorescent antibody technique. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1998, 51 (1) : 5-9.
- Haijin Liu, 2017. Génération d'un nouveau vaccin pour protéger les volailles contre la maladie de Newcastle et l'excrétion virale, <http://www.theses.fr/2017MONTT025/document> consulté le 12/02/18.
- Han S., Zhan g X., et Zhao J., 2012. Production of Egg Yolk Antibody (IgY) against Recombinant Canine Parvovirus VP2 Protein. *Acta Scientiae Veterinariae*. 40(2): 1029.
- Huart A. et Bisimwa C., 2004. La Pseudo Peste Aviaire : un fléau pour les pays en voie de développement. *Ecocongo*, 6p.
- Korver D. R., 2012. Implications of changing immune function through nutrition in poultry. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 173, 54-64.
- Li Xg. et Li Gu., 1993. Developement and application of hyperimmunized egg yolk antibodies against IBD. *Cineses journal of Veterinary Science and Technology*. Jul. 1993 Vol.23 No.7.
- Linghua Z., Xingshan T. et Fengzhen Z., 2007 Vaccination with Newcastle disease vaccine and CpG oligodeoxynucleotides induces specific immunity and protection against Newcastle disease virus in SPF chicken. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 115, 216-222.
- Marcq C., Chalghoumi, R., Beckers, Y., Portetelle, D. et Thewis, A., 2009b. Développement d'une stratégie d'immunisation passive du poulet de chair vis-à-vis de *Salmonella Enteritidis* et *Typhimurium* à l'aide d'anticorps du jaune d'œuf. 8^{mes} Journées de la Recherche Avicole. 25-26 mars 2009. St Malo, France.
- Marcq C., Théwiss A., Portetelle D. et Beckers Y., 2009a. Immunisation passive du poulet de chair vis-à-vis des salmonelles à l'aide d'anticorps du jaune d'œuf. 9^{ème} Journée Productions porcines et avicoles, 37-44.
- Nau, F., Anton M., Nys Y., 2003: L'œuf de poule: une mine de molécules à activités biologiques. In: Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours.
- Satigui S., Yaya S.K., Martin D., Diakaridia T., Alpha D., Adama D1., Modibo S., Mohamed N., Fousseyni S., Cheick Amadou, Tidiani D., Kassim S. et Amadou Babana, 2017. Molecular Characterization of the Infectious Bursal Disease Virus Strains in the Modern Poultry Farms Located in the Suburban Areas of Bamako District in Mali. *Indian J. Comp. Microbiol. Immunol. Infect. Dis.* Vol. 38 No. 1 (Jan-June), 2017: 43-49.
- Schade R., Calzado E. G., Sarmiento R., Chacana P. A., Porankiewicz-Asplund J. et Terzolo H.R., 2005. Chicken Egg Yolk Antibodies (IgY-technology): A Review of Progress in

- Production and Use in Research and Human and Veterinary Medicine, ATLA 33, 1–26.
- Spradbrow P.B., 1987. Newcastle disease - An overview. In: Copland J.W. Ed., Newcastle disease in poultry: A new food pellet vaccine. Canberra, Australia, ACIAR.
- Stewart-Brown B., Grieve D. et Heihts M., 1993. La Maladie de Gumboro : une pathologie mondiale. L'Aviculteur, (545) : 72 - 75.
- Wang C. et al., 1993. Bivalent hyper immune yolk antibodies for prevention and treatment of ND and IBD. Chinese journal of animal and poultry infectious diseases. Number 2, 1993.
- Wright P.F., Nilsson E., Van Rooij E.M.A., Lelenta M., and Jeggo M.H., 1992. Standardisation and validation of enzyme-linked immunosorbent assay techniques for the detection of antibody in infectious disease diagnosis. Rev Sci Tech 1993; 435-450.
- Xu Y, Li X, Jin L, Zhen Y, Lu Y, Li S, You J et Wang L., 2011. Application des immunoglobulines du jaune d'œuf de poule dans la lutte contre les maladies des animaux terrestres et aquatiques : revue. 10.1016/j.biotechadv.2011.07.003.
- Xue X. et al., 1993. Studies on the treatment of Newcastle disease with yolk antibodies Chinese Journal of Animal and Poultry Infectious Diseases. Number 6, 1993.
- Zhu L. et al., 1993. Studies and using of yolk antibodies on the check infectious bursal disease. Chinese journal of the veterinary science and technology. Number 7, 199.

Performances pondérales comparées des hybrides F1 issus du croisement entre les races de poule Cou nu x Wassachè et Bleu d'hollande x Wassachè au secteur d'élevage de l'IPR-IFRA de Katibougou

Drissa COULIBALY^{1*}, Pernon BAYOKO¹, Naba KONATE¹, Abdoulaye DIAMOUTENE¹ Mamadou SANOGO¹, Bankoro BAGAYOKO¹, Moussa TANGARA¹, Datié COULIBALY¹, Siaka DOUMBIA¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée, Koulikoro/Mali ; Courriel de Correspondance : *drissaycoulibaly@yahoo.fr

RESUME : La croissance pondérale et l'efficacité alimentaire jusqu'à 12 semaines ont été étudiées chez des hybrides cou-nu hétérozygotes (Na na+) et des oiseaux normalement emplumés (na+ na+), issus d'un croisement entre coqs améliorateurs « cou-nu », « Bleu d'hollande » et poules améliorées « Wassachè ». Les oiseaux des deux génotypes ont été élevés au sol séparément sur litière en copeau de bois dans un bâtiment d'élevage à la température ambiante. Chaque génotype constitué de 50 poussins était réparti, selon le sexe, dans deux groupes de 25 sujets et recevait une ration contenant 21% de protéines brutes et 2600 à 2850 Kcal EM/kg. Les sujets ont été pesés individuellement à 4, 6, 7, 8 et 12 semaines. Dans les lots des mâles, 4 coquelets (soit 2 par génotype) ont été prélevés au hasard aux âges respectifs de 4, 6, 7, 8 et 10 semaines, pour la détermination du poids du plumage rapporté au poids corporel. A 90 jours d'âge, sur un échantillon au hasard de chaque génotype (2 sujets par génotypes), le sang a été pesé après saignée, ainsi que les plumes après plumaison à sec, puis des mesures de composition corporelle ont été réalisées. L'enregistrement de la consommation alimentaire collective (par lot) a été faite sur une période de 4 semaines, entre les âges de 8 et 12 semaines.

Les résultats obtenus montrent une supériorité du poids corporel chez les hybrides mâles et femelles de génotype cou-nu à la 12^e semaine d'âge. De plus, chez les deux sexes, bien que les effets ne soient pas significatifs, toutes les différences suggèrent un avantage des oiseaux cou-nu sur les autres normalement emplumés. Les rendements carcasses, calculés en fonction de l'âge et du génotype de même que le poids des plumes rapporté au poids corporel ont été similaires dans les deux génotypes. Le coefficient de corrélation linéaire estimé entre le poids vif et le poids carcasse a été de 0.99, ce qui a permis d'établir une équation de prédiction du poids carcasse suivant le modèle : (Poids carcasse = 0,71992*(Poids vif) - 44,62331). L'intérêt d'études ultérieures est souligné en vue d'une utilisation possible du gène « cou-nu » pour la production de poulets à double usage dans des conditions de climat chaud et sec.

Mots clés : gène cou-nu, croisement, performances productives, bleu d'Hollande, Mali

I. INTRODUCTION

Dans beaucoup de pays en développement, l'aviculture de type familiale rurale prédomine. Au Mali, cette aviculture regroupe plus de 90 % des effectifs de volailles avec une prédominance des poules. Le secteur avicole malien compte environ 42 millions de têtes de volailles, dont environ 38,5 millions de volailles de races locales et près de 3,5 millions de volailles modernes[1]. En termes de valeur marchande cela représente près de 25 milliards FCFA, selon la même source.

Cette place qu'occupe la volaille est liée au fait que ce sont des animaux à cycle court et les produits avicoles sont accessibles aux populations, surtout les œufs de table dont le prix unitaire varie entre 75 et 100 FCFA pour le consommateur final [2].

Face à une démographie galopante, le secteur de l'aviculture continue de se développer et de s'industrialiser dans de nombreuses régions du monde avec la création de souches de plus en plus

performantes, mais plus exigeantes du point de vue conduite sanitaire, alimentaire, etc. Pour développer de nouveaux systèmes de production conformes aux exigences du développement durable des filières d'élevage au XXI^{ème} siècle, il est nécessaire de réorienter la sélection vers des aptitudes différentes et complémentaires de celles privilégiées jusqu'à présent en élevage conventionnel [3]. Il faut alors proposer de nouvelles combinaisons de caractères adaptées aux objectifs des éleveurs engagés dans un processus de modernisation [4]. Dans toutes les filières animales, il s'agit d'orienter la sélection vers plus de robustesse, une gestion plus efficace de la santé et une efficacité alimentaire accrue des animaux en situation de ressources quantitativement et/ou qualitativement limitantes [5]. Le modèle de sélection génétique avicole, d'orientation industrielle, a fait son temps.

Au Mali, des croisements ont été réalisés entre la race locale (Kokochè) et la race importée (Rhode

Island Red) pour obtenir une race mixte (aussi appelée race à double fin). Leur comportement maternel en station ainsi qu'en milieu réel a été étudié et ils furent baptisés « Wassachè » « poulet qui donne satisfaction » en 2003. Cette race améliorée de volaille a été choisie en raison de ses propriétés génétiques exceptionnelles, constatées par les chercheurs. Pour favoriser son émergence et de son développement au Mali, il a été mis en place des coqs améliorateurs et des coquelets. Malgré les potentialités génétiques de cette race, son endurance face à la chaleur, sa précocité (1500 kg de poids vif corporel à 6 mois d'âge) et l'efficacité alimentaire présentent des lacunes qui peuvent être améliorées par l'introduction de gènes favorables.

Ainsi, il a été démontré que le gène Na (cou nu) s'exprime dès la naissance par une réduction de l'extension du plumage dans certaines zones [6], avec dominance incomplète [7] ; [8]. En réponse à une température élevée constituant un « stress » thermique, [9] observent moins de mortalité parmi les poussins hétérozygotes Na na⁺ que pour ceux de génotype na⁺ na⁺ à plumage normal. D'autre part, [10], puis [11] ont montré qu'à une température ambiante élevée (31 °C) maintenue constante de 3 à 10 semaines d'âge par comparaison avec un témoin subissant des températures plus basses (15 à 20 °C), la présence du gène Na s'accompagnait d'un avantage de croissance dans le groupe chauffé, avec un indice de consommation au moins aussi bon que celui des poulets à plumage normal. Les mêmes auteurs montrent en outre qu'aux deux températures, le rendement à l'abattage était amélioré par le gène « cou nu ». Le gène « Cou nu » augmente le rendement en viande des poulets ; il amoindrit l'efficacité alimentaire aux températures modérées, mais, au-dessus de 30°, est bénéfique pour la croissance, la viabilité, le poids des œufs et la reproduction. Il pourrait être utile en climats chauds [12].

Cette étude tente de comparer la productivité des hybrides de première génération issus de parentaux coqs « cou nu », « bleu d'hollande » et de poules wassachè. Son objectif, à long termes, est de sélectionner une race capable de répondre, en termes d'adaptabilité, aux défis futurs de la filière avicole dans nos terroirs.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel animal

L'étude a été réalisée au secteur d'élevage de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR-IFRA) de Katiougou dont les coordonnées géographiques sont : Les coordonnées géographiques sont 12°55'49" N et 7°31'42" W en DMS (degrés, minutes, secondes) ou 12.9303 et -7.52833 (en degrés décimaux)[13]. Les

hybrides utilisés étaient de génotypes (**3/8 RIR 1/8 KKC ½ BH**) et (**3/8 RIR 1/8 KKC ½ CN**), issus d'un croisement entre coqs bleu d'Hollande (BH), cou-nu (CN) et poules Wassachè. Le choix de la bleu d'hollande est motivée par sa robustesse (3,5 kg pour le mâle), la qualité de sa chair. Le cou-nu a été retenu pour sa rusticité, sa robustesse et sa précocité. La poule Wassachè de génotype ¾ RIR ¼ KKC est une race améliorée par suite d'un croisement entre une poule locale, Kokochè (KKC) et un coq de la Rhode Island Rouge (RIR). Le poids de la femelle à 18 mois varie de 1,7 à 2,75 kg. La femelle adulte peut pondre entre 160 à 170 œufs par an [1]. Le Wassachè est présentement en diffusion dans les exploitations agricoles au Mali.

Les races parentales (BH et CN) ont été élevées dès le premier jour jusqu'à 42 semaines d'âge pour les coqs améliorateurs et 35 semaines pour les poules Wassachè (race à améliorer). Huit (8) coqs de chacune des deux races amélioratrices ont été sélectionnés et accouplés chacun à 5 poules Wassachè. Les coqs cou-nu étant homozygotes (Na Na) dominants pour le gène cou-nu (Na) et les poules Wassachè entièrement emplumées (na⁺ na⁺) et récessives pour ce même gène, on s'attend à ce que tous les descendants F1 issus du croisement entre ces deux souches soit de génotype Na na⁺ (cou-nu). Les hybrides attendus du croisement entre Bleu d'hollande et Wassachè seront entièrement emplumés (na⁺na⁺).

Les œufs fécondés issus de ces croisements ont été collectés quotidiennement sur deux semaines, appréciés et stockés avant d'être soumis à une incubation artificielle. A l'éclosion, le sexe et le génotype (Na na⁺ ou na⁺ na⁺) ont été déterminés. Cent (100) poussins viables, soit 25 par sexe et par génotype, issus de ces croisements ont été utilisés comme sujets expérimentaux.

2.2. Conditions d'élevage

Les conditions suivantes d'élevage étaient communes à tous les lots expérimentaux. A un (1) jour d'âge, les poussins ont été élevés au sol sur litière en copeau de bois dans un bâtiment d'élevage avec une température initiale sous éleveuse voisine de 35°C. L'éleveuse a été retirée après deux semaines de chauffage pour passer à la température ambiante qui a été mesurée à l'aide de thermomètres installés dans le bâtiment d'élevage. Les poussins recevaient un éclairage artificiel de 10 heures par jour, de 8 heures à 18 heures. Un aliment de type industriel (KOUDIJ) contenant 21% de protéines brutes et 2850 Kcal EM/kg a été utilisé au démarrage de 0 à 6 semaines d'âge. Pendant la phase de croissance allant de 7 à 20 semaines, ils ont reçu un aliment produit sur place, dosant 18% de protéines totales et 2600 à 2800 Kcal EM/kg d'aliment. Les oiseaux étaient abreuves à volonté. Ils ont reçu un

programme de prophylaxie sanitaire et médicale contre les maladies de Gumboro, Newcastle, la bronchite infectieuse, le coryza, la variole. Ils ont également reçu des complexes vitaminiques et des anti-infectieux.

2.3. Lots expérimentaux

Deux lots expérimentaux constitués chacun de 50 poussins par génotype ont été formés. Les poussins d'un même lot ont été répartis selon le sexe, en deux sous-lots de 25 sujets chacun ; ceci a permis d'obtenir l'indice de conversion alimentaire global de chaque sous-groupe par sexe. La période expérimentale a duré 12 semaines pour l'appreciation de la croissance pondérale. Les caractéristiques de ponte feront l'objet d'une autre communication.

2.4. Mesures

Pendant la phase de croissance, les oiseaux ont été pesés individuellement à 4, 6, 7, 8 et 12 semaines. Dans les lots des mâles, 4 coquelets (soit 2 par génotype) ont été prélevés au hasard aux âges respectifs de 4, 6, 7, 8 et 10 semaines, pour la détermination du poids du plumage rapporté au poids corporel. A l'abattage (90 jours d'âge), sur un échantillon au hasard de chaque génotype (2 sujets par génotypes chez les mâles), le sang a été pesé après saignée, ainsi que les plumes après plumaison à sec, puis des mesures de composition corporelle (poids carcasse, poids après saignée, poids des viscères, poids des abats) ont été réalisées. Le

rendement carcasse qui est le poids carcasse rapporté au poids vif, exprimé en %, a pu être déterminé.

L'enregistrement de la consommation alimentaire collective (par lot) a été faite sur une période de 4 semaines, entre les âges de 8 et 12 semaines pour la phase de croissance (Bordas et al., 1975). Les indices de consommation (rapport de l'aliment consommé au gain de poids) ont été déduits pour la même période.

2.5. Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été saisies dans les logiciels XLSTAT 2022.2.1.1319 et R 4.3.2. Les statistiques descriptives (moyenne, écart-type) ont été calculées pour chaque variable. Le test t Student pour deux échantillons indépendants a été utilisé pour comparer les moyennes des deux croisements de génotypes. L'analyse de la variance a été utilisée pour évaluer l'effet de l'interaction (âge, génotype) sur le poids vif et le poids carcasse. Quant à la régression linéaire simple, elle a été utilisée pour évaluer la relation fonctionnelle entre le poids carcasse et le poids vif.

III. RESULTATS

3.1. Croissance pondérale des croisés

Les variables de la croissance (poids moyen individuel par lot) mesurées par période de deux semaines sur les poulets en fonction des génotypes et du sexe, sont consignées dans le tableau 1 et font l'objet de la figure 1.

Tableau 1. Poids moyen par âge, sexe et génotype au locus Na chez les hybrides

Age (semaines)	Sexe	GENOTYPES				P-value
		N	Plumage normal	N	Cou-nu	
			Poids moyen individuel (g)		Poids moyen individuel (g)	
4	♂	25	302,5±56,5	25	314,4±56,6	0,22
	♀	25	257,1±47,4	25	261,5±49,7	0,37
6	♂	23	534,8±81	23	543,9±64,7	0,33
	♀	25	464,5±80,8	25	490,7±85,8	0,13
8	♂	19	768,9±100,4	19	779,8±99,9	0,36
	♀	25	650,3±116,9	25	694,6±124,7	0,1
10	♂	17	984,6±155,9	17	1015,7±70,1	0,17
	♀	25	863,2±170,2	25	916,6±161,6	0,26
12	♂	15	1235,2±93,2	13	1371,1±202,6	0,02
	♀	10	1113,4±108,9	13	1268,5±137,1	0,003

L'analyse des résultats du tableau 1 fait apparaître une différence de croissance entre les mâles et les femelles quel que soit le génotype considéré. En revanche, les poids vifs moyens individuels par lot de la 12^e semaine ont été significativement supérieurs chez les coquelets ($p < 0,02$) et les poulettes cou-nu ($p < 0,003$)

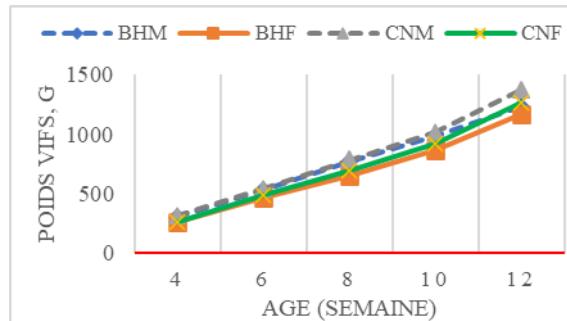


Figure 1. Courbe de croissance des hybrides F1

BHM : Bleu Hollande mâle ; **BHF :** Bleu Hollande femelle ; **CNM :** Cou-nu mâle ; **CNF :** Cou-nu femelle.

3.2. Gains de poids vif et efficacité alimentaire des hybrides F1

Les gains de poids, la consommation alimentaire et les indices de conversion alimentaire réalisés aux différents âges par les hybrides, sont présentés dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Gains de poids vifs, consommation alimentaire et indice de conversion alimentaire des coquelets F1

Age en semaine	Génotypes au locus plumage	p-value
	Plumage normal	Cou-nu
Gains de poids vif, g		
4-6	232,3	229,5
6-8	234,1	235,9
8-10	215,7	235,9
10-12	250,6	355,4
Moyenne (4-12 s)	233,2 ± 14,3 ^a	264,2 ± 60,9 ^a
Consommation alimentaire, g/tête		
4-6	490	490
6-8	703,3	703,3
8-10	882,5	910
10-12	944,6	1032
Moyenne (4-12 s)	755,1 ± 204,2 ^a	783,8 ± 238,3 ^a
Indices de conversion alimentaire		
4-6	2,1	2,13
6-8	3,0	3,0
8-10	4,0	3,9
10-12	3,8	2,9
Moyenne (4-12 s)	3,2 ± 0,9 ^a	3,0 ± 0,7 ^a

a- Les moyennes marquées de la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes entre elles.

Tableau 3. Gains de poids vifs, consommation alimentaire et indice de conversion alimentaire des poulettes F1

Age en semaine	Génotypes au locus plumage		p-value
	Plumage normal	Cou-nu	
Gains de poids vif, g			
4-6 s	207,4	229,2	
6-8 s	185,8	203,9	
8-10 s	212,9	422	
10-12 s	302,2	351,9	
Moyenne (4-12 s)	227,1±51,4 ^a	301,8±103,0 ^a	0,2
Consommation alimentaire, g			
4-6 s	443,3	443,3	
6-8 s	541,3	541,3	
8-10 s	648,7	653,3	
10-12 s	602	630	
Moyenne (4-12 s)	558,8±88,7 ^a	567,0±95,5 ^a	0,9
Indices de conversion alimentaire			
4-6 s	2,1	1,9	
6-8 s	2,9	2,7	
8-10 s	3,0	1,5	
10-12 s	1,9	1,8	
Moyenne (4-12 s)	2,5±0,6 ^a	2,0±0,5 ^a	0,2

a -Les moyennes marquées de la même lettre sur la même ligne ne sont pas significativement différentes entre elles.

Les résultats présentés dans les tableaux 2 et 3 montrent des gains de poids, une consommation alimentaire et des indices de conversion alimentaires numériquement supérieurs chez les cou-nus. Cependant, l'analyse de variance indique qu'il n'y a pas d'effet significatif du génotype pour les trois paramètres considérés au sein d'un même sexe. Toutefois, les indices de conversion ont été meilleurs chez les femelles des deux génotypes.

3.3. Emplumement des hybrides mâles

Les valeurs moyennes (en %) du poids des plumes rapporté au poids corporel, par génotype, sont illustrées dans la figure 2.

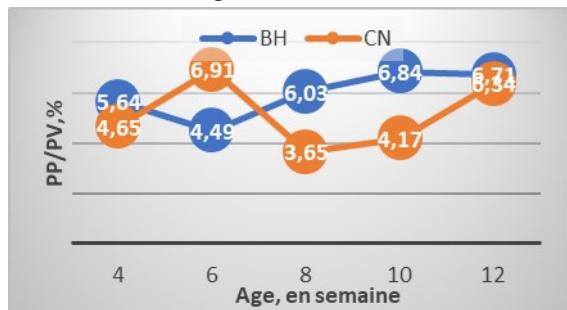


Figure 2 : Emplumement des hybrides en fonction de l'âge des hybrides

L'analyse de la figure 2 montre une influence plus tardive de l'effet emplumement sur le poids corporel chez les hybrides F1 cou-nu (CN) comparativement à leurs homologues normalement emplumés (BH).

3.4. Caractéristiques corporelles des hybrides mâles

Le tableau 4 donne les valeurs moyennes des caractéristiques corporelles des sujets abattus aux différents âges dans les deux génotypes. Les poids vifs moyens avant abattage sont donnés pour

information. Les moyennes générales calculées pour le rendement carcasse après abattage ont été de 65,1% chez les croisés au plumage normal et 64,6% chez les cou-nus. L'effet génotype sur le poids carcasse n'est pas significatif ($p = 0,8$).

Tableau 4. Composition corporelle moyenne des hybrides en fonction des génotypes et de l'âge d'abattage (semaines)

Age en Semaine	Caractéristiques corporelles						
	Poids vif (g)	Poids du sang (g)	Poids des plumes (g)	Poids des viscères (g)	Poids des abats (g)	Poids carcasse (g)	Rendement (%)
Croisés « bleu d'Hollande » au plumage normal (na+na+)							
4	310 ± 12,7	10,5 ± 0,7	17,5 ± 7,8	30,0 ± 1,4	55,0 ± 4,2	182,5 ± 4,9	58,87
6	567,5 ± 43,1	21,0 ± 1,4	25,5 ± 3,5	45,5 ± 5,7	96,0 ± 8,5	368,0 ± 26,9	64,84
8	756,0 ± 100,4	24,0 ± 5,7	45,5 ± 0,7	60,0 ± 2,8	74,5 ± 10,6	492,0 ± 70,7	65,07
10	1007,5 ± 13,4	41,0 ± 1,4	49,0 ± 1,4	60,0 ± 15,6	55,5 ± 3,5	692,0 ± 45,3	68,68
12	1230,0 ± 51,6	39,5 ± 7,8	82,5 ± 2,1	81,0 ± 2,8	105,5 ± 4,9	837,5 ± 30,4	68,08
Croisés « cou-nus » (Nana+)							
4	279,0 ± 45,3	12,0 ± 0,0	13,0 ± 5,7	35,0 ± 2,8	50,5 ± 3,5	164,5 ± 31,8	58,96
6	542,5 ± 10,6	17,0 ± 1,4	37,5 ± 7,8	41,5 ± 10,6	90,0 ± 1,4	345,0 ± 7,1	63,65
8	616,0 ± 9,9	26,5 ± 0,7	22,5 ± 0,7	49,5 ± 10,6	66,0 ± 1,4	401,5 ± 0,7	65,17
10	1113,5 ± 204,4	48,0 ± 2,8	46,5 ± 9,2	86,0 ± 5,7	62,2 ± 4,2	755,0 ± 169,7	67,8
12	1220,5 ± 112,4	52,5 ± 4,9	77,5 ± 0,7	87,0 ± 4,1	72,5 ± 12,0	822,5 ± 95,5	67,39

3.4.1. Variation du poids carcasse en fonction de l'âge et du génotype

Les figures 3 et 4 indiquent l'influence de l'âge et du génotype (race) sur le poids carcasse des hybrides F1.

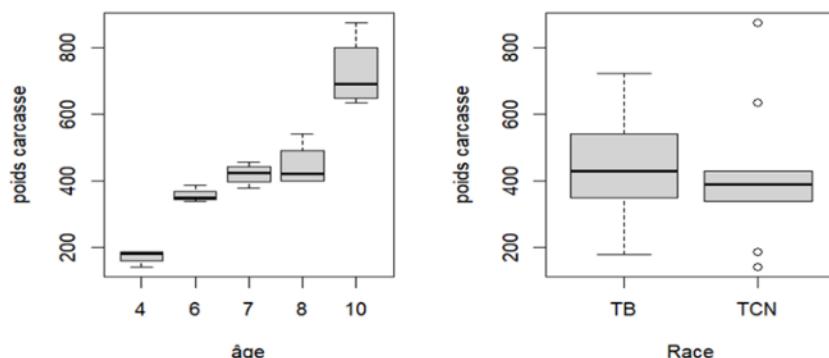


Figure 3 : Influence de l'âge et du génotype sur le poids carcasse des hybrides, TB : Bleu d'Hollande et TCN = Cou nu

L'analyse de la figure 3 montre que le facteur âge à une influence probable sur le poids carcasse tandis

que celle du facteur génotype est moins marquée. Le génotype cou nu (TCN) présente des valeurs isolées

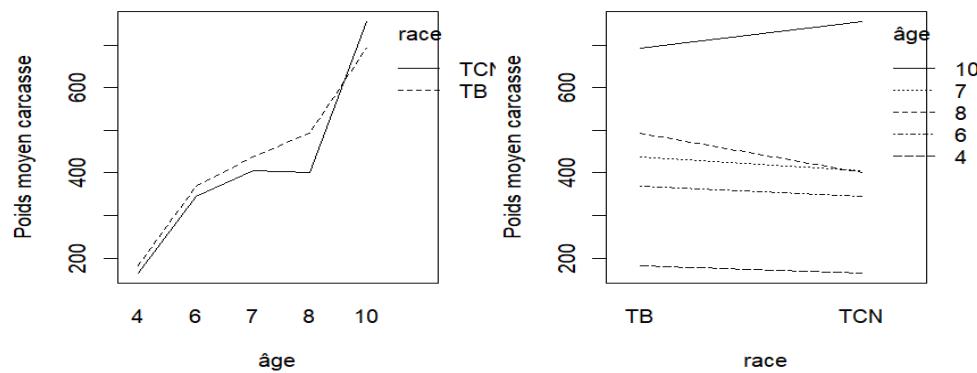


Figure 4. Distribution des poids carcasses en fonction du génotype et de l'âge

Les lignes du diagramme d'interaction de la figure 4 n'étant pas parallèles, nous envisageons un modèle avec interaction des facteurs.

Tableau 5 : Analyse de variance du poids carcasse

	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F calculé	Pr(>F)
Race	1	2060	2060	0,441	0,516
Age	1	605694	605694	129,761	4,36e-09 ***
Race : Age	1	1540	1540	0,330	0,574
Résidus	16	74684	4668		

Signification des codes : 0 ‘****’ 0.001 ‘***’ 0.01 ‘**’ 0.05 ‘.’

Seul le facteur « âge » a une influence très hautement significative sur la variable dépendante « poids carcasse ».

3.4.2. Variation du poids carcasse en fonction du poids vif

Les résultats issus de l'analyse de variation du poids carcasse en fonction du poids vif des hybrides, sont présentés dans les diagrammes de dispersion (fig. 5), box-plot (fig. 6), suivis des résultats du calcul du coefficient de corrélation linéaire et de la régression linéaire simple entre les deux paramètres étudiés

Le nuage de points du diagramme de dispersion semble aligné. On observe que lorsque les valeurs du poids vif augmentent, celles de la carcasse augmentent aussi. Ceci indique une relation positive probable entre les deux paramètres étudiés.

La dispersion du poids en fonction de l'âge et du génotype est présentée dans les figures 6 et 7.

Les résultats de l'analyse de variance du poids carcasse selon l'âge des poussins et leurs génotypes sont présentés dans le tableau 4.

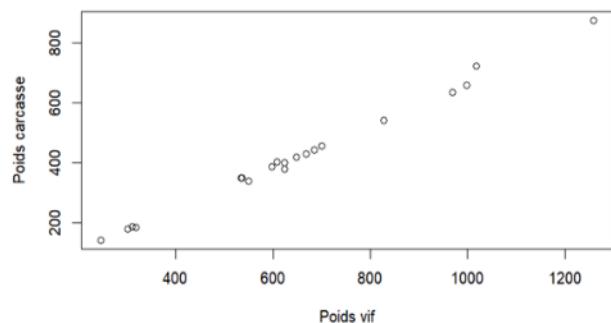


Figure 5 : Distribution des poids carcasses des individus en fonction de leurs poids vifs

La figure 6 montre que le poids carcasse et le poids vif évoluent dans le même sens. La corrélation entre le poids carcasse et le poids vif est donc positive.

La figure 7 montre que le poids vif et le poids carcasse semblent assez proches pour les deux races. Cependant, on observe des valeurs isolées pour les poids du génotype TCN.

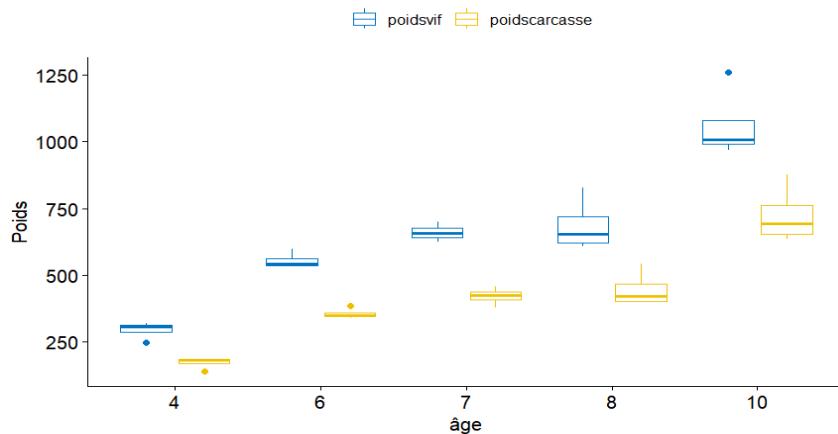


Figure 6 : Répartition des poids vifs et des poids carcasses des individus en fonction de l'âge

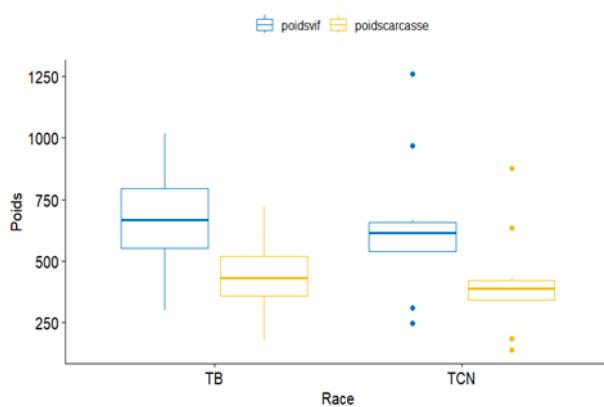


Figure 7 : Répartition des poids vifs et des poids carcasse des individus en fonction des génotypes (race)

Coefficient de corrélation linéaire

Le coefficient de corrélation linéaire estimé est de 0.9974931 et la p-value < 2.2e-16. Ce qui signifie que ce coefficient est très significativement différent de 0.

Le coefficient de corrélation linéaire est positif et proche de 1, donc il y a une forte dépendance linéaire entre le poids carcasse et le poids vif. En outre, le poids carcasse et le poids vif varient dans le même sens.

Les coefficients estimés sont très significativement différents de 0.

Le coefficient de détermination $R^2 = 0,9947$ signifie que 99,47% de la variance est expliquée par la variable explicative (poids vif). On en déduit que : Poids carcasse = 0,71992*(Poids vif) - 44,62331.

Régression linéaire simple

	Estimations	Erreur standard	Valeurs de t	Pr(>F)
Constante	-44.62331	8.42340	-5.298	4.9e-05 ***
Poids vif	0.71992	0.01204	59.805	< 2e-16 ***

Signification des codes : 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 . 0.1 ‘ ’ 1

IV. DISCUSSION

Il est nécessaire au préalable de rappeler que les résultats ont été traités de façon séparée dans chaque sexe, ce qui n'exclut pas, cependant, leur comparaison lorsqu'ils présentent des similitudes. Il s'agit du poids vif, de la consommation alimentaire et des indices de conversion alimentaire. Ensuite, dans la seconde partie, seuls les aspects d'emplumement et les caractéristiques corporelles ont été considérés chez les mâles.

Les résultats du tableau 1 suggèrent une supériorité du poids corporel chez les deux sexes, associée au génotype cou-nu (Na na+) quel que soit l'âge des hybrides. Toutefois, cette supériorité n'a été surtout significative qu'à la 12^e semaine chez les deux sexes. A la 8^e semaine chez les femelles et 10^e

chez les mâles, la différence à l'avantage du génotype Na na+ (cou nu) approche le seuil 5% de signification ($P < 0,10$) et serait à confirmer sur de nouvelles données. Cette supériorité de croissance rapide chez les hybrides cou-nu se justifie par leurs gains de poids dont la moyenne a été supérieure à celle des croisés à plumage normal, même si cette différence n'est pas statistiquement significative (tableau 2). On pourrait penser à une ingestion alimentaire supérieure permise aux oiseaux « Cou nu » du fait de leur thermolyse accrue mais, sur l'ensemble des deux sexes, la consommation moyenne par individu diffère peu entre génotypes (tableaux 2 et 3). De surcroît, les différents indices de conversion alimentaire établis, bien que non statistiquement significatifs, indiquent une meilleure valorisation de l'aliment par les individus cou-nu. L'effet différentiel de la température ambiante dans

le poulailler (de 32°C en moyenne) explique probablement l'avantage relatif de croissance observé dans cette étude. Selon [14] «l'utilisation la plus vraisemblable du gène « Cou nu » se situe aux températures ambiantes élevées, 25°C et au-dessus. En production « chair », ses avantages sont alors une vitesse de croissance, un rendement à l'abattage et en viande supérieurs et une résistance meilleure aux stress de chaleur aigus. Il pourrait être utile en climats chauds. Cet effet différentiel de la température ambiante explique probablement l'avantage relatif de croissance observé par [15] à la saison chaude en Egypte pour des poulets « Cou nu » hétérozygotes comparés à des poulets à plumage normal dans un croisement d'une lignée Fayoumi, alors qu'en hiver aucune différence significative n'apparaissait.

La supériorité du poids corporel chez les mâles serait dû au dimorphisme sexuel. Le sexe influence également les caractères phénotypiques, l'espèce étant connue pour un dimorphisme sexuel, les mâles sont généralement supérieurs aux femelles [16]. De même chez les coqs, le gène Na augmente la consommation d'aliment dans une proportion encore plus grande que chez les femelles. Nos résultats de poids corporel de 1268,5±137,1g et de 1113,4±108,9 g obtenus respectivement chez les femelles croisées cou-nu et celles à plumage normal, ont été supérieurs aux 1042,83 g obtenus par (Drissa et al. 2020) chez la poule améliorée « Wassachè » à la 12^e semaine d'âge dans des conditions d'élevage similaires. Il est à noter que ce croisement a permis de réduire de façon significative les indices de conversion alimentaire qui ont varié de 2,0 à 2,5 chez les femelles croisées contre 5,07 chez la poule parentale « Wassachè ».

Le poids relatif du plumage montre une interaction entre âge et génotype : son développement paraît hâté à partir de la 4^e jusqu'à la 6^e semaine chez les croisés cou-nu (figure 2). Par la suite, sa réduction a été mise à profit à une croissance plus importante du poids vif (figure 1). En réduisant la production de plumes pendant cette période critique, les oiseaux peuvent allouer davantage d'azote à d'autres processus métaboliques essentiels, tels que la croissance corporelle, la reproduction ou même le stress. Dans ce cas, la réduction du plumage due au gène Na peut être considérée comme une stratégie évolutive pour optimiser l'utilisation des protéines et de l'azote pendant la croissance des plumes. Par ailleurs, d'après les travaux de [15], la réduction du plumage produite par le gène Na est indépendante du taux protéique de la ration. La matière sèche des plumes étant principalement composée de protéines, cette réduction peut représenter une économie du besoin azoté durant la période de pousse maximale du plumage. Nos résultats du poids des plumes

rapporté au poids vif, obtenus à la 12^e semaine d'âge chez les cou-nus ont été de 6,34% contre 6,71% chez les croisés au plumage normal et ont été comparables aux 5,59% à 7,17% obtenus par [17] respectivement chez des coqs élevés sous une température de 31°C.

S'agissant de la composition corporelle des croisés, les moyennes des deux génotypes, dans l'ensemble, sont proches et non significativement différentes (tableau 4). C'est le cas en particulier pour le rendement carcasse à l'abattage où il n'apparaît pas d'effet significatif associé au gène Na sur ce trait à 12 semaines d'âge. Par ailleurs, la légère supériorité du rendement carcasse observée chez les croisés à plumage normal s'expliquerait par la différence de potentialités génétiques liées aux poids corporels initiaux des deux parentaux améliorateurs. Les coqs bleu d'hollande étant plus lourds que les cou-nus. Nos résultats sont donc en conformité avec ceux de [14], qui stipulent qu'en production « chair », les avantages du gène Na sont une vitesse de croissance, un rendement à l'abattage et en viande supérieurs et une résistance meilleure aux stress de chaleur aigus. Des études scientifiques ont révélé que le gène (Na) du cou nu améliore la taille des poitrines et réduit le stress thermique chez les poulets de races homozygotes pour le trait [18].

Concernant les corrélations entre variables obtenues par mesure du poids vif et dissection sur les carcasses, nous ne citerons ici que celle qui paraît différer suivant le poids vif et le poids carcasse à l'abattage quel que soit le génotype. Le coefficient de corrélation linéaire estimé (r) a été de + 0,997, ce qui indique une forte corrélation entre le poids vif et le poids carcasse. En outre, ces deux traits varient dans le même sens. A partir des caractéristiques corporelles, on peut donc établir une estimation du poids carcasse en fonction du poids vif d'un sujet, comme suit : (Poids carcasse = 0,71992*(Poids vif) - 44,62331). Cette équation permettra de déterminer le poids carcasse à partir du poids vif corporel des poulets à tout âge.

Nos résultats vérifient donc que, dans un croisement se rapprochant du type poulet de chair, le gène cou nu n'a aucun effet défavorable sur la croissance à température élevée, le rendement à l'abattage. Au contraire il améliore l'indice de conversion comparativement à la race locale à améliorer.

D'un point de vue pratique, ce résultat ne peut être considéré que comme une première indication. Il devra être confirmé et complété lors d'une prochaine étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] “Le Poulet ‘Wassachiè’ dope la filière locale | Programme de Productivité Agricole en Afrique de l’Ouest.” Accessed:

- Feb. 25, 2024. [Online]. Available: <http://www.waapp-paaao.org/fr/actualities/le-poulet-wassachie-dope-la-filiere-locale>
- [2] J. Adouko, B. Koutonin, A. Soha, F. Ohouko, and T. Dougnon, “Evaluation de l’effet de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* sur la qualité des œufs de poule ISA Brown,” *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, vol. 2, pp. 40–47, 2019.
- [3] R. Morales, F. Phocas, M. Solé, S. Demyda-Peyrás, A. Menéndez-Buxadera, and A. Molina, “Breeding beef cattle for an extended productive life: Evaluation of selection criteria in the Retinta breed,” *Livestock Science*, vol. 204, pp. 115–121, 2017.
- [4] T. Ahlman, M. Ljung, L. Rydhmer, H. Röcklinsberg, E. Strandberg, and A. Wallenbeck, “Differences in preferences for breeding traits between organic and conventional dairy producers in Sweden,” *Livestock Science*, vol. 162, pp. 5–14, 2014.
- [5] C. Hoze, S. Fritz, F. Phocas, D. Boichard, V. Ducrocq, and P. Croiseau, “Efficiency of multi-breed genomic selection for dairy cattle breeds with different sizes of reference population,” *Journal of Dairy Science*, vol. 97, no. 6, pp. 3918–3929, 2014.
- [6] F. B. Hutt, *Genetics of the Fowl: The Classic Guide to Chicken Genetics and Poultry Breeding*. Norton Creek Press, 2003.
- [7] R. Crawford, “Incomplete dominance of the gene for naked neck in domestic fowl,” *Poultry Science*, vol. 55, no. 2, pp. 820–822, 1976.
- [8] T. Scott and R. Crawford, “Feather number and distribution in the throat tuft of Naked Neck chicks,” *Poultry Science*, vol. 56, no. 2, pp. 686–688, 1977.
- [9] A. J. Smith and R. Nicou, “L’élevage de la volaille,” *Le Technicien d’agriculture tropicale*, 1992.
- [10] A. Bordas, E. Abd-el-Gawad, and P. Merat, “Performances de production d’œufs et efficacité alimentaire de poules de race égyptienne Mandarah à deux températures,” *Revue d’élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, vol. 47, no. 4, pp. 411–413, 1994.
- [11] L. Monnet, A. Bordas, and P. Mérat, “Gène cou nu et performances de croissance selon la température chez le poulet,” presented at the *Annales de génétique et de sélection animale*, EDP Sciences, 1979, pp. 397–412.
- [12] P. Merat, “Gènes majeurs chez la poule (*Gallus Gallus*): autres gènes que ceux affectant la taille (1),” *INRA Productions animales*, vol. 3, no. 5, pp. 355–368, 1990.
- [13] “Katibougou Carte (Plan), Photos et la meteo - (Mali): lieu habité - Latitude:12.9303 and Longitude:-7.52833.” Accessed: Feb. 28, 2024. [Online]. Available: https://fr.getamap.net/cartes/mali/koulikoro/_katibougou/
- [14] P. Merat, “Potential usefulness of the Na (naked neck) gene in poultry production,” *World’s Poultry Science Journal*, vol. 42, no. 2, pp. 124–142, 1986.
- [15] A. Zein-El-Dein, H. Ayoub, and P. Mérat, “Gène Cou nu et performances de croissance de poulets à deux saisons différentes en Egypte,” presented at the *Annales de génétique et de sélection animale*, EDP Sciences, 1981, pp. 269–280.
- [16] N. Moula, N. Antoine-Moussiaux, F. Farnir, M. Phillipart De Foy, and P. Leroy, “Performances zootechniques de la poule Ardennaise, une race ancienne pour le futur?,” in *Annales de Médecine Vétérinaire*, ULg-Université de Liège, 2009, pp. 66–75.
- [17] A. Bordas, P. Mérat, D. Sergent, F. H. Ricard, G. Coquerelle, and G. Marche, “Influence du gène Na («Cou-nu») sur la croissance, la consommation alimentaire et la composition corporelle du poulet selon la température ambiante,” in *Annales de génétique et de Sélection animale*, BioMed Central, 1978, p. 209.
- [18] A. N’dri, S. Mignon-Grasteau, N. Sellier, C. Beaumont, and M. Tixier-Boichard, “Interactions between the naked neck gene, sex, and fluctuating ambient temperature on heat tolerance, growth, body composition, meat quality, and sensory analysis of slow growing meat-type broilers,” *Livestock Science*, vol. 110, no. 1–2, pp. 33–45, 2007.

Effet du Foin de *Brachiaria ruziziensis* sur les Performances des Bœufs de Trait dans la Zone Cotonnière du Mali

Alassane BA¹, Sidi Oumar TRAORE^{2*}, Abdoul Kader KONE², Mamadou Oumar DIAWARA³, Tidiane DIARISSO⁴, Nangboro Ferdinand DEMBELE² & Doubangolo COULIBALY⁵

^{1,2}Institut d'Economie Rurale (IER), Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sotuba, Programme Bovins, Bamako, Mali

³Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques (FST), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTT-B), Colline de Badalabougou, Bamako, Mali.

⁴Université de Ségou, Ségou, Mali

⁵Institut d'Economie Rurale (IER), Direction Générale, Bamako, Mali

*traoresidioumar@gmail.com

RÉSUMÉ : En zone cotonnière du Mali, les bœufs de trait (BdT) ne sont pas en bon état physique pour effectuer les activités agricoles au début de la campagne. Ainsi, la recherche a entrepris la valorisation du foin de *Brachiaria ruziziensis* dans l'alimentation des BdT en milieu réel. Ce travail vise à déterminer l'effet du foin de *Brachiaria ruziziensis* sur les performances des BdT. L'étude a été menée sur 116 BdT de race Méré, soit quatre (4) têtes par producteur. Les animaux étaient repartis entre deux (2) traitements. La ration du témoin (T0) était composée de tourteau de coton, de la paille de céréales + pâturage. La ration expérimentale (T1) était composée du tourteau de coton, de la paille de céréales, du foin de *Brachiaria ruziziensis* + pâturage. Les GMQ ont varié de 274 à 674 g en T1 et de 175 à 629 g en T0. La production moyenne de la fumure organique a été de 219 kg/tête pour le T1 et de 185 kg/tête pour le T0. La marge brute du T1 (42900 FCFA/tête) a été meilleure que celle du T0 (39340 FCFA/tête). La ration T1 mérite d'être diffusée à grande échelle pour améliorer la productivité des BdT.

Mots-clés : Gain Moyen Quotidien, fumure organique, *Brachiaria ruziziensis*, tourteau de coton, bœufs de trait, Mali

INTRODUCTION

Dans les zones agricoles au sud du Mali, l'insuffisance de fourrages pour les animaux liée à la dégradation des parcours naturels et la diminution accrue des parcelles en jachère est devenue inquiétante [1]. Or de récents travaux montrent une augmentation exponentielle des effectifs de bétail et particulièrement ceux du cheptel bovin [1].

En outre, le déficit fourrager est de plus en plus fréquent en saison sèche et les agro-éleveurs de la zone cotonnière du Mali arrivent très difficilement à maintenir les bœufs de trait en bon état physique pour faire face aux activités agricoles en début de la saison des pluies [2]. Cela met en retard l'implantation des parcelles de culture surtout les premiers labours, grattage et semis des cultures. En effet, il est constaté une baisse tendancielle de la production agricole des petits exploitants agricoles dans ces zones [1].

Alors, les bœufs de trait bien alimentés en saison sèche peuvent être utilisés dans les opérations

culturales dès le démarrage des activités champêtres. Le démarrage à temps des opérations de labour, de semis assure l'amélioration des rendements agricoles surtout dans un contexte de changement climatique. Il est établi que les rations alimentaires à base des espèces fourragères produisent une quantité importante de fumiers très utiles pour la durabilité des systèmes de production [1].

Ainsi, la recherche a entrepris l'introduction et le développement de nombreuses cultures fourragères dont celle de *Brachiaria ruziziensis* dans les systèmes de productions agricoles dans les zones rurales au sud du Mali.

La biomasse de cette culture renferme des éléments nutritifs pour les animaux, tels que la teneur élevée en protéines, en minéraux ainsi que la digestibilité élevée [4]. Cette culture assure aussi une bonne couverture du sol, le protège et réduit les herbes nuisibles. Elle a également un arrière effet important qui permet d'augmenter le rendement des cultures subséquentes [3], [4].

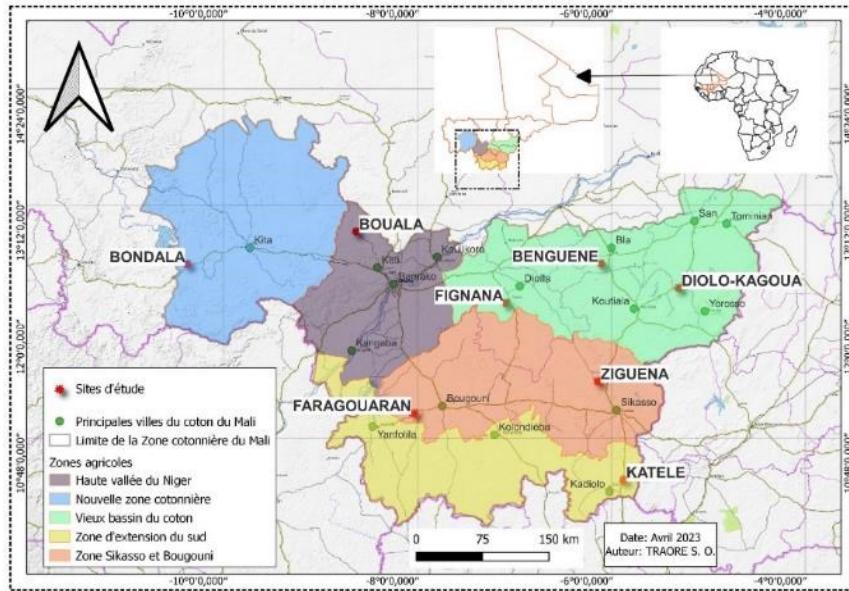


Figure 1 : Localisation des sites de l'étude

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites d'étude

Cette étude a été menée dans huit (8) villages répartis dans les différentes régions agricoles en zone cotonnières du Mali [5]. Il s'agit des villages de : Benguéné, Diolo-Kagoua, Fignana, Faragouaran, Katélé, Bondala, Bouala et Ziguéna (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Dans ces villages, l'agriculture et l'élevage sont les activités les plus pratiquées par les habitants.

Les cultures de coton et des céréales telles que le maïs, le mil et le sorgho sont dominantes. Mais avec l'intervention des projets dans ces derniers temps quelques espèces fourragères (*Mucuna pruriens*, *Brachiaria ruziziensis*, *Dolique*) sont également cultivées dans la zone [6], [7].

L'élevage joue un grand rôle dans les activités agricoles. Les animaux surtout les bœufs de trait sont utilisés dans les opérations culturales telles que le labour, le grattage, le semis, le sarclage, l'hersage, le transport des produits, etc. L'élevage apporte également aux agro-éleveurs de la fumure organique pour la fertilisation de leurs champs de culture [2].

Cette étude vise à formuler une ration alimentaire des animaux à base de foins de *Brachiaria ruziziensis* au profit des exploitants agricoles afin d'augmenter leurs revenus agricoles. Spécifiquement, elle vise à : (i) déterminer l'effet de *Brachiaria ruziziensis* sur l'accroissement de poids des bœufs de trait en conditionnement, (ii) évaluer la quantité de fumure produites par animaux en test, et (iii) déterminer la rentabilité économique des rations testées pour les animaux de traction.

Matériel

Matériel utilisé

Le matériel végétal pour cette étude était constitué du foin de *Brachiaria ruziziensis* et de pailles de céréales (de riz ou de maïs). Le matériel animal était de bœufs de trait de race Méré.

Les intrants utilisés étaient constitués de : tourteau de coton, bloc de pierre à lécher et des produits vétérinaires.

Outils et équipements

Les outils utilisés dans ce travail sont les suivants :

- Ruban zoométrique utilisé dans la mensuration des animaux tous les 15 jours ;
- Balance de 50 kg la pesée de la fumure organique.

Méthodes

Dispositif expérimental

Cette étude a concerné 116 têtes de bovins de trait de race Méré chez 29 producteurs, soit quatre (4) têtes par producteur dans huit (8) villages d'étude. Les animaux étaient divisés en deux (2) lots ayant reçu un des deux traitements :

- **T0** = témoin, pratique paysanne : 1 kg de tourteau de coton + 4 à 6 kg de pailles céréales (de riz ou de maïs) + pâturage ;
- **T1** = pratique expérimentale : 1 kg de tourteau de coton + 2 kg de foins de *Brachiaria ruziziensis* + 4 à 6 kg de pailles céréales (de riz ou de maïs) + pâturage.

Alimentation des animaux et soins sanitaires

Les aliments (foin de *Brachiaria ruziziensis*, tourteau de coton, paille de céréales) ont été distribués aux animaux chaque jour au retour du

pâture. La pierre à lécher et l'eau d'abreuvement étaient en libre accès pour les animaux des 2 traitements.

L'expérimentation a duré 90 jours avec une phase d'adaptation de 15 jours.

Les animaux ont été traités au début du test contre la trypanosomiase animale africaine avec du Veriben, mais aussi contre les parasitoses internes et externes avec de l'Ivomec-D.

Paramètres mesurés et calculés

Les paramètres mesurés ont été les suivants :

- Quantité d'aliments distribués ;
- Quantité d'aliments refusés ;
- Quantité d'aliments ingérés ;
- Gain moyen quotidien (GMQ) des animaux (les animaux étaient pesés tous les 15 jours à l'aide d'un ruban zoo métrique) ;
- Production de fèces des animaux (fumure organique).

Calcul économique

Le calcul des variables économiques a concerné la marge brute (MB), la valeur brute (VB) et le coût de production (CP).

La marge brute (MB) est la différence entre la valeur brute et le coût de production.

Le coût de production (CP) est constitué des frais suivants : aliments et pierre à lécher, produits vétérinaires, prestation du vétérinaire et main d'œuvre du berger pour les entretiens des bœufs de trait.

La valeur brute (VB) est la valeur des produits suivants : fumier, gain de poids. La formule est la suivante :

$$MB (\pi) = \Sigma VB - \Sigma CP = \Sigma PQ - \Sigma PX$$

Soit :

Q = Quantité ; X = inputs ; P = Prix

Détermination de la valeur nutritive des aliments

Un sous-échantillon de Brachiaria ruziziensis a été envoyé au Laboratoire de Nutrition Animale (LTA)

de l'Institut d'Economie Rurale (IER) pour des analyses bromatologiques. Elles ont consisté à déterminer la matière sèche (MS), le phosphore (P), le calcium (Ca), la cellulose, les protéines, les cendres, les lipides et l'énergie. Les valeurs nutritives de ce foin ont été comparées à des valeurs issues de la littérature pour les deux autres types d'aliments.

Analyse des données

Les données ont fait l'objet d'analyses statistiques descriptives (moyenne, écart-type, pourcentage, etc.) avec Microsoft Excel. L'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes avec le test de Newman et Keuls au seuil de 5%. Le logiciel R.4.1.2 a été utilisé à cet effet.

RÉSULTATS

1. Effet de la ration à base de foins de Brachiaria ruziziensis sur le conditionnement des bœufs de trait

Gain moyen quotidien et ingestion des aliments

Le

présente le gain moyen quotidien des animaux en fonction de la ration alimentaire. Au regard du tableau le gain moyen quotidien (GMQ) du T1 a été supérieur de manière significative (0,001) à ce du T0. La moyenne a été de 432 g pour le T1 contre 326 g pour le T0.

Evolution pondérale des animaux

L'évolution du poids des animaux est présentée sur la Figure 2. Au regard de la figure, il ressort que de la première date (D1) de pesée jusqu'à la dernière date (D6) de pesée il y a eu une augmentation du poids des animaux pour les deux traitements. L'évolution pondérale a été régulière durant les 75 jours de la phase expérimentale dans les deux lots.

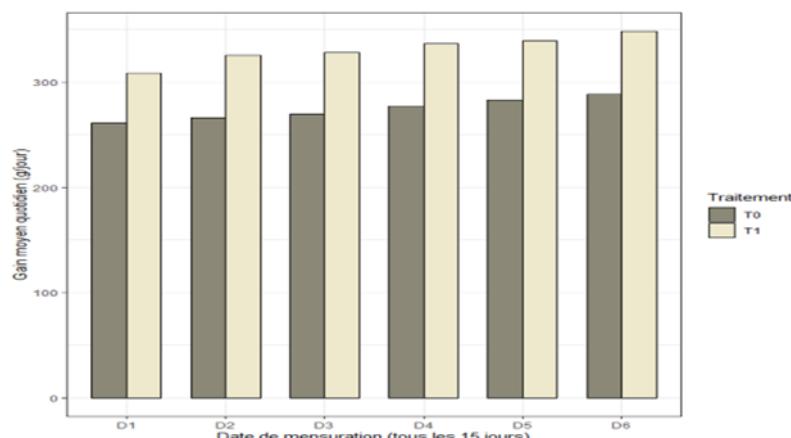


Figure3 : Evolution pondérale des bœufs de trait selon les rations en 2022 (kg/tête)

Production de fumure organique par tête

La Figure 4 présente les quantités de fumure organique produite en moyenne par les bœufs de trait

en test. La fumure organique produite par les animaux du lot de T1 a été de 219,05 kg/tête et de 185,16 kg/tête pour les animaux du lot de T0

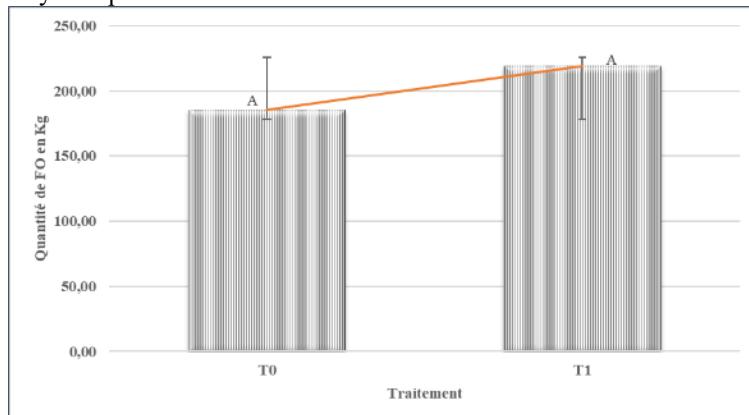


Figure 4: Fumure organique produite en moyenne par les bœufs de trait pendant les 3 mois d'expérimentation en 2022, T0 = 1 kg tourteau de coton+4 à 6 kg de pailles céréales + pâturage, T1 = 1 kg tourteau de coton+4 à 6 kg de pailles céréales+2kg de foins de Brachiaria + pâturage

Rentabilité financière

La Marge Brute gagnée dans les 2 traitements est présentée dans la Figure 4. Les rations alimentaires des animaux en test à base de foins de *Brachiaria*

ruziziensis sont rentables économiquement pour les producteurs. Mais il ressort évidemment que la ration du T1 (42900 FCFA/tête) est meilleure que celle du T0 (39340 FCFA/tête).

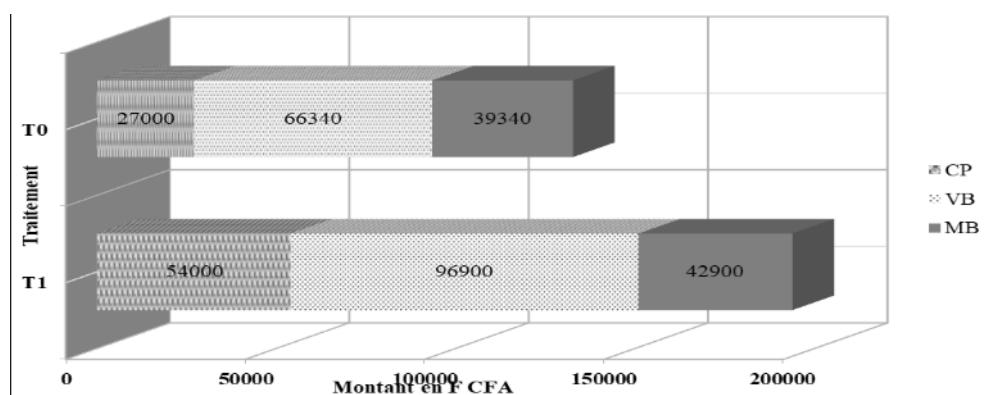


Figure 5 : Marge brute des rations alimentaires à base de foin de *Brachiaria ruziziensis* en 2022 (en FCFA/tête)

T0 = 1 kg de tourteau de coton + 4 à 6 kg de pailles céréale + pâturage

T1 = 1 kg de tourteau de coton + 4 à 6 kg de pailles céréales + 2 kg de foins de *Brachiaria ruziziensis* + pâturage

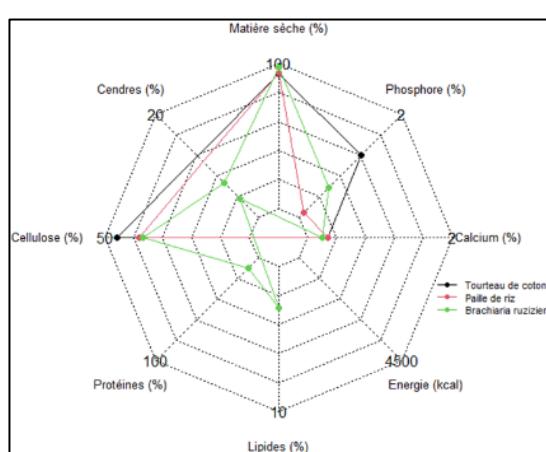


Figure 6 : Comparaison des compositions chimiques des différents types de fourrages
Valeur nutritive des aliments

Avec 97,15%, le foin de *Brachiaria ruziziensis* a une teneur en matière supérieure à celles du tourteau de coton (92,9%) et de la paille de riz (93,3%). La teneur en cellulose du foin de *Brachiaria ruziziensis* (36,8%) est proche de celle de la paille de riz (38%) et inférieure à celle du tourteau de coton (45,8%). Ce foin a une teneur en calcium inférieure à celles des deux autres types d'aliments qui est de 0,28%. Le foin de *Brachiaria ruziziensis* est aussi plus riche en phosphore 0,58% contre 0,09% pour la paille de riz.

Elle est moins élevée par rapport à celle du tourteau de coton (1,21%) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

DISCUSSION

Le GMQ a varié entre les 2 traitements. L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les traitements pour le GMQ des animaux. Le GMQ obtenu dans le lot du T1 (432 g/jour) a été plus élevé que celui obtenu dans le lot du T0 (326 g/jour) au niveau de tous les sites d'étude. Cette situation est due à l'effet du foin de *Brachiaria ruziziensis* qui est riche en éléments nutritifs. Les animaux du lot T1 des villages de Bondala, Diolo-kagoua et Katélé ont enregistré les meilleurs GMQ. C'est au niveau du site de Benguéni où les faibles GMQ ont été obtenus dans les lots du T0 ainsi que du T1. Dans ce village, ces faibles performances peuvent être expliquées par la faible disponibilité du fourrage de qualité dans les pâturages naturels. Nos résultats sont comparables à ceux obtenus par [1]. D'après ces auteurs, un gain de poids moyen quotidien de 372 g pour un animal de 250 kg a été trouvé avec des animaux qui recevaient quotidiennement des rations composées à base de fanes de *Mucuna pruriens* et du tourteau de coton. Ce même constat a été fait par dans d'autres études qui confirment que les rations améliorées permettent d'accroître considérablement le poids des animaux [8].

Quant à l'évolution du poids des animaux, il est constaté que l'accroissement de poids est plus élevé en T1 qu'en T0, avec une évolution pondérale positive et régulière durant toute la durée de l'expérimentation.

La fumure organique produite par les animaux du lot T1 (219,05 kg/tête) est plus élevée que celle produite par ceux des animaux du lot T0 (185,16 kg/tête) au niveau de tous les sites. Une étude similaire démontre qu'une paire de bœufs de labour alimentés dans une période de 3 mois permet aux exploitations agricoles d'avoir entre 144 à 622 kg de fumure organique [1]. Ces auteurs affirment également que la stabulation semis-permanente est un moyen de diminuer le taux de perte de vue et de la mortalité des animaux surtout en période sèche chaude.

En outre, [9] ont obtenu 161 kg de fumure par animal en moyenne durant 94 jours d'expérimentation avec une ration constituée de 1,5 kg fourrage de niébé, 1,5 kg de tourteau plus le pâturage. Ces mêmes auteurs ont trouvé 332 kg de fumure par animal en stabulation sans le pâturage avec une ration quotidienne de paille de céréale, de fourrage de niébé et de tourteau de coton.

L'analyse bromatologique réalisée sur un échantillon de foin de *Brachiaria ruziziensis* montre

que ce fourrage pourrait servir dans le conditionnement des bœufs de traits avec des valeurs alimentaires qui se situent entre celles de la paille de riz et du tourteau coton [10].

CONCLUSION

Les rations alimentaires des animaux à base de foin de *Brachiaria ruziziensis* (T1) ont donné de meilleurs rendements pour le gain de poids et la production de fumure organique contre le Témoin (T0). Aussi, la ration à base de foins de *Brachiaria ruziziensis* présente un intérêt économique pour les agro-éleveurs en milieu rural. La diffusion à grande échelle de cette ration est nécessaire pour rehausser la productivité des bœufs de trait afin de permettre aux exploitants agricoles d'améliorer leur niveau de revenu agricole et d'élevage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence Française de Développement (AFD) et le gouvernement de la république du Mali pour le financement des activités à travers le projet d'Appui à la transition Agro-écologie en zone cotonnière du Mali (AgrECO). Ils remercient aussi les producteurs collaborateurs, les agents de collecte des données et les vétérinaires mandataires des sites d'étude pour leur dévouement dans la conduite de cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. Coulibaly, A. Ba, et B. Dembélé, « Conditionnement des bœufs de trait à base de fourrage de Mucuna en saison sèche, Soumaré M., Havard M. (eds), 2018. Innovations pour l'amélioration de la productivité et de la durabilité des systèmes d'exploitation à base de coton au Mali. IER, CIRAD, AFD, CNRA, Bamako, Mali », p. 17-18, 2018.
- [2] R. H. Bosma, M. Bos, S. Kanté, D. Kébé, et W. Quak, « The promising impact of ley introduction and herd expansion on soil organic matter content in southern mali », *Agric. Syst.*, vol. 62, n° 1, p. 1-15, oct. 1999, doi: 10.1016/S0308-521X(99)00038-4.
- [3] F. Sissoko, S. Diarra, et M. Traore, « Le semis direct sous couverture végétale : une opportunité de mise en place rapide du cotonnier en culture pluviale au Mali », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 14, n° 3, Art. n° 3, juin 2020, doi: 10.4314/ijbcs.v14i3.7.
- [4] F. Anugroho, M. Kitou, K. Kinjo, et N. Kobashigawa, « Growth and Nutrient Accumulation of Winged Bean and Velvet Bean as Cover Crops in a Subtropical Region », *Plant Prod. Sci.*, vol. 13, n° 4, p. 360-366, 2010, doi: 10.1626/pps.13.360.
- [5] M. Soumaré et S. Traoré, « Planche 1. Zone agricole des zones cotonnières, Soumaré M. (ed), Atlas des zones cotonnières du Mali, deuxième édition, IER-CIRAD, pp 15-18. », 2019.
- [6] S. O. Traoré, A. Ba, D. Coulibaly, A. K. Koné, B. Kone, et N. F. Dembélé, « Production du fourrage de Mucuna pruriens pour l'alimentation des animaux et sa marge brute en zone cotonnière du Mali », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 15, n° 1, p. 117-128, 2021, doi: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.11.

- [7] A. Ba, S. O. Traoré, M. O. Diawara, A. Traoré, A. K. Koné, et D. Coulibaly, « *Brachiaria ruziziensis* fodder: A Supplementary Resource for Livestock in the Cotton Production Zone of Mali », *Int. J. Food Sci. Agric.*, vol. 6, n° 4, p. 409-415, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.26855/ijfsa.2022.12.008>.
- [8] A. Maj, J. Oprzadek, A. Oprzadek, E. Dymnicki, et L. Zwierzchowski, « Polymorphism in the 5'-noncoding region of the bovine growth hormone receptor gene and its association with meat production traits in cattle », *Anim. Res.*, vol. 53, n° 6, p. 503-514, nov. 2004, doi: 10.1051/animres:2004038.
- [9] O. M. Sanogo, S. Doumbia, et K. Descheemaeker, « Complementation des bovins laitiers pour l'amélioration de la production de lait et du fumier en milieu paysan dans le cercle de koutiala », *Rev. Malienne Sci. Technol.*, n° 22, p. 134-143, 2019.
- [10] CAE, 2000. Manuel des bonnes pratiques pour l'alimentation du bétail et de la volaille, Alimentation des animaux d'embouche, 52p.

Influence de la Densité de Plantation de la Variété de Pomme de Terre (*Solanum Tuberosum L.*) Gala et de l'application de Deux Fongicides sur les Maladies dans les Conditions Climatiques du Moyen Oural, Ekaterinbourg, Fédération de Russie

Fodé KEITA^{1*}, Michel KARPUKHIN², Bakary SAGARA³

¹- Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou, Département d'Etudes et de Recherche (DER) des Sciences et Techniques Agricoles (STA), Unité de protection des végétaux, BP 06, Koulikoro, Mali

²- Université Agraire d'État de l'Oural, Ekaterinbourg, Russie

³- Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou, Département d'Etudes et de Recherche (DER) des Sciences et Techniques Agricoles (STA), Unité de protection des végétaux,

*keitafode2016@gmail.com

RESUME : L'objectif de cet article est d'étudier les effets de la densité de plantation de la variété de pomme de terre Gala et de l'application de deux fongicides sur les principales maladies dans les conditions climatiques du Moyen Oural. Le matériel végétal utilisé dans l'expérience est une variété de pomme de terre moyennement précoce "Gala" d'origine allemande dont le cycle varie entre 70-80 jours avec un rendement potentiel de 60 t/ha. Deux facteurs ont fait l'objet d'étude, à savoir la densité de plantation et l'application de fongicides. Les recherches ont été menées sur le site expérimental de l'Université Agraire d'État de l'Oural pendant trois ans (2016-2018) dans les conditions agro-climatiques du Moyen Oural. Les résultats montrent que la meilleure densité de plantation de pomme de terre a été révélée dans la variante 70 cm x 35 cm avec l'application du fongicide Shirlan à la dose de 0,4 l/ha. L'incidence du mildiou (*Phytophthora infestans*) et celle de l'alternariose (*Alternaria solani*) ont été réduites de 3,5-4 fois moins que la variante contrôle. L'analyse statistique des données a montré que le rendement le plus élevé – 36,6 t/ha a été obtenu dans la variante 70 cm x 35 cm (facteur A) avec le coût de production de 4 446 roubles/t soit 40 014 FCFA/t, le bénéfice s'élève à 269 172 roubles/ha soit 2 422 548 FCFA/ha et la rentabilité est de 165,43%. Pour la première fois dans les conditions agro-climatiques du Moyen Oural, il a été établi que le rendement le plus élevé de toutes les variantes étudiées a été obtenu avec la densité de plantation de 70 cm × 35 cm en utilisant le fongicide Shirlan 36,6 t/ha (facteur B), soit 31,1 % de plus que le contrôle (facteur A).

Mots-Clés : Pomme de terre, densité de plantation, Shirlan, bénéfice, rentabilité.

ABSTRACT: The aim of this article is to study the effects of the planting density of the Gala potato variety and the application of two fungicides on the main diseases in the climatic conditions of the Middle Urals. The plant material used in the experiment is a medium-early 'Gala' potato variety of German origin with a cycle varying between 70-80 days and a potential yield of 60 t/ha. Two factors were studied: planting density and fungicide application. The research was carried out at the experimental site of the Urals State Agrarian University for three years (2016-2018) under the agro-climatic conditions of the Middle Urals. The results show that the best potato planting density was achieved in the 70 cm x 35 cm (2450 cm²) variant with the application of the fungicide Shirlan at a dose of 0.4 l/ha, which significantly reduced the incidence of downy mildew (*Phytophthora infestans*) and alternaria (*Alternaria solani*) by 3.5-4 times less than the control variant. Statistical analysis of the data showed that the highest yield – 36.6 t/ha was obtained in the 70 cm x 35 cm variant (factor A) with a production cost of 4,446 roubles/t or 40,014 FCFA/t, profit amounted to 269,172 roubles/ha or 2,422,548 FCFA/ha and profitability was 165.43%. For the first time in the agro-climatic conditions of the Middle Urals, it was established that the highest yield of all the variants studied was obtained with a planting density of 70 cm × 35 cm using the fungicide Shirlan 36.6 t/ha (factor B), i.e. 31.1% higher than the control (factor A).

Key Words: Potato, planting density, Shirlan, profit, profitability.

I. INTRODUCTION

L'économie malienne repose essentiellement sur le secteur agricole qui contribue à hauteur de 40% au PIB national et occupe à peu près 80% de la

population. L'agriculture représente un défi majeur pour le développement du Mali. Cette agriculture reste toujours dominée par les petites exploitations familiales vulnérables pratiquant essentiellement les

cultures vivrières. L'objectif principal de la politique de développement agricole (PDA) est de contribuer à faire du Mali un pays émergent où le secteur agricole est le moteur de l'économie nationale, garantissant la souveraineté alimentaire dans un contexte de développement durable (Sidibe A. et al., 2018). La culture de la pomme de terre est une pratique ancienne au Mali. Elle serait introduite depuis le 19ème siècle par le colonisateur français. Sa principale période de production est la saison sèche froide mais elle est aussi cultivée dans une moindre mesure pendant l'hivernage. Aujourd'hui, cette culture est intégrée dans tous les systèmes de production du Mali parce qu'elle est très rentable. Compte tenu de l'accroissement de la population ainsi que l'amélioration des habitudes alimentaires, sa demande ne fait qu'augmenter tant au niveau national qu'au niveau sous régional. Le rendement varie de 20 à 40t/ha selon la variété et la technologie de culture utilisées. Au Mali, le rendement moyen est dans l'ordre de 23 t/ha (Diakité L., Zida M., 2003). L'augmentation de la population mondiale et de la demande alimentaire exerce une pression sans précédente sur l'agriculture et les ressources naturelles. Les systèmes actuels de production agricole ne permettent pas de fournir à la population mondiale des aliments nutritifs en quantité suffisante et dans le respect de l'environnement (WU W. et al., 2018). Environ 821 millions de personnes sont sous-alimentées, tandis que 1,2 milliard sont en surpoids ou obèses. D'ici 2050, une population mondiale de 9,7 milliards de personnes exigera 70 % de nourriture en plus que ce qui est consommé aujourd'hui (FAO, 2018). Actuellement, près de 3 milliards de personnes souffrent encore de sous-alimentation ou de malnutrition. Les pertes de récoltes dues aux ravageurs, aux maladies et aux mauvaises herbes sont de l'ordre de 35%, et peuvent atteindre 50% dans les régions en développement où les moyens de lutte sont plus limités. Cela souligne le rôle clé joué par la lutte contre les organismes nuisibles dans la sauvegarde des récoltes et dans la sécurité alimentaire (Dougoud J. et al., 2018). Au niveau mondial, les pertes de rendement de la pomme de terre dues aux maladies sont environ 32%, 10% pour les ravageurs et 6% pour les mauvaises herbes, contre respectivement 15 %, 3 % et 4 % au Royaume-Uni (Jellis, G., 1984). Les pertes mondiales de pomme de terre dues aux seules maladies s'élèvent à environ 90 millions de tonnes, soit environ 17 % de la récolte brute, ce qui est deux fois plus élevé que les pertes de céréales, de légumes et de betteraves sucrières (Ivenin, V., 2015). En Oural Moyen, la pomme de terre est attaquée par plus de 25 types de maladies dont les plus sévères sont le mildiou (*Phytophthora infestans*), l'alternariose (*Alternaria solani*), le rhizoctone (*Rhizoctonia solani*), la gale commune

(*Streptomyces scabies*), la Gangrène ou tache en coup de pouce (*Phoma exigua*), les maladies bactériennes comme la jambe noire (*Erwinia carotovora*), la pourriture annulaire (*Corynebacterium sepedonicum*) et les maladies virales (Kolobkov, E., 2012). L'impact économique et social potentiel du mildiou de la pomme de terre est parfaitement illustré par le rôle très médiatisé qu'il a joué dans la famine irlandaise au milieu du XIXe siècle. Cette famine a entraîné la mort ou l'émigration de millions d'irlandais (Bourke A., 1993). D'autres épidémies dévastatrices de mildiou ont été signalées dans le monde entier, provoquant l'insécurité alimentaire et la faim (International Potato Center, 2007), et qui ont souvent paralysé l'industrie de la pomme de terre. Haverkort et al. (2009) ont estimé que le coût global et les pertes dues au mildiou pourraient représenter 16% de la production mondiale de pomme de terre. La perte de 16% représente donc une perte financière annuelle de 6,1 milliards d'euros, sachant que l'augmentation de la production mondiale de la pomme de terre au cours de la dernière décennie s'est principalement augmentée dans les pays en voie de développement, qui souffraient de faibles rendements et de la grande majorité des pertes estimées dues au mildiou par rapport aux pays développés.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériel végétal et sol d'implantation de l'essai

Le matériel végétal utilisé dans l'expérience est une variété de pomme de terre moyennement précoce "Gala" d'origine allemande. La température du sol au moment de la plantation était de +7 à +8°C, le poids moyen d'un tubercule était de 50-80 g.

Le sol de la parcelle expérimentale est un chernozem podzolisé avec les paramètres agrochimiques suivants : indicateurs de la couche arable : pH-sel – 5,18 ; humus – 4,56 % ; acidité hydrolytique – 12,82 mg-éq/100 g de sol ; somme des bases absorbées – 32,1 mg-éq/100 g de sol ; hydrolytique – 12,82 mg-éq/100 g de sol ; somme des bases absorbées – 32,1 mg-éq/100 g de sol ; azote facilement hydrolysable – 204,7 mg/kg ; phosphore mobile – 243,7 mg/kg et potassium échangeable – 251,6 mg/kg de sol.

2.2. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit avec deux facteurs à savoir la densité de plantation et le traitement des plants de pomme de terre avec des fongicides. Deux fongicides ont fait l'objet d'étude dans l'essai: Shirlan, fongicide de contact, 50% SC à la dose de 0,3 l/ha, Infinito, fongicide systémique, 68,7% SC à raison de 1,2 l/ha.

Le dispositif expérimental (à deux facteurs) est constitué de 15 traitements en 4 répétitions. La surface totale de l'essai est de 1344 m², la surface de

la parcelle élémentaire est de 22,4 m² (longueur = 8 m, largeur = 2,8 m). L'écartement entre les parcelles élémentaires est de 1 m. La disposition des parcelles dans l'essai est systématique. La surface de la parcelle utile est de 10 m². L'écartement entre les lignes est de 70 cm, la distance entre les plantes sur

la ligne varie de 20 à 40 cm. La densité de plantation des tubercules varie de 36 000 à 71 000 tubercules/ha. La profondeur de plantation des tubercules est de 8-10 cm. Les précédents culturaux de la pomme de terre étaient des graminées annuelles.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Facteur A – Densité de plantation, Contrôle (Traitement avec l'eau)

1–70 cm x 20 cm, 2–70 cm x 25 cm, 3– 70 cm x 30 cm, 4–70 cm x 35 cm, 5–70 cm x 40 cm

Facteur B – Traitements avec des fongicides : Shirlan et Infinito

Traitements avec le fongicide Shirlan :

1–70 cm x 20 cm, 2–70 cm x 25 cm, 3– 70 cm x 30 cm, 4–70 cm x 35 cm, 5–70 cm x 40 cm

Traitements avec le fongicide Infinito :

1–70 cm x 20 cm, 2–70 cm x 25 cm, 3– 70 cm x 30 cm, 4–70 cm x 35 cm, 5–70 cm x 40 cm

2.3. Paramètres observés

Les observations ont essentiellement porté sur les différentes phases de croissance de la pomme de terre, le rendement, l'incidence, la sévérité des principales maladies aussi bien pendant la période de végétation que de conservation des tubercules, l'efficacité économique de la culture de pomme de terre, cas de la variété Gala en fonction de la densité de plantation et de l'application des fongicides.

3. Résultats et discussions

La composition des agents pathogènes après le traitement aux fongicides est restée la même, mais

*Tableau 1 : Incidence du mildiou (*Phytophthora infestans*) sur les plants de pomme de terre en fonction de la densité de plantation et de l'application des fongicides, (%)*

Densité de plantation, (cm)	Nombre de plants/parcelle élémentaire								
	Contrôle			Shirlan			Infinito		
	Total des plants observés	Nbre de plants malades	%	Total des plants observés	Nbre de plants malades	%	Total des plants observés	Nbre de plants malades	%
70x20	115	20	17,3	135	8	5,9	132	9	6,8
70x25	101	18	17,8	105	6	5,7	102	8	7,8
70x30 (c)	83	17	20,4	90	5	5,5	90	7	7,7
70x35	75	14	18,6	71	4	5,6	80	5	6,2
70x40	70	12	17,1	64	3	4,6	71	4	5,6
r=	-0,98	-0,99	0,05	-0,98	-0,99	-	0,85	-0,96	-0,99
						0,85			0,67

Le schéma similaire a été établi avec l'incidence de l'alternariose (*Alternaria solani*). Les résultats ont montré que dans le traitement contrôle, l'incidence de l'alternariose a varié de 10,0 à 15,6 % (r = -0,99),

l'incidence et la sévérité de la maladie ont changé. Ainsi, l'incidence du mildiou (*Phytophthora infestans*) dans la variante contrôle a augmenté de 10,4-16,8 % à 17,1-20,4 % et ne dépendait pas de la densité de plantation (r = 0,05). Après le traitement au fongicide Shirlan, l'incidence du mildiou a diminué de 3 fois, indépendamment de la densité de plantation (r = -0,85). L'application du fongicide Infinito a aussi réduit l'incidence de la maladie de 2,6 à 3,0 fois avec r = -0,67. Dans ce cas, l'effet de la densité de plantation était minime.

*Tableau 2 : Incidence de l'alternariose (*Alternaria solani*) sur les plants de pomme de terre en fonction de la densité de plantation et de l'application des fongicides, (%)*

Densité de plantation, (cm)	Nombre de plants/parcelle élémentaire								
	Contrôle			Shirlan			Infinito		
	Total des plants observés	Nbre de plants malades	%	Total des plants observés	Nbre de plants malades	%	Total des plants observés	Nbre de plants malades	%
70x20	115	18	15,6	135	7	5,1	132	9	6,8
70x25	101	14	13,8	105	5	4,7	102	7	6,8
70x30 (c)	83	10	12,0	90	4	4,4	90	6	6,6
70x35	75	8	10,6	71	3	4,2	80	5	6,2
70x40	70	7	10,0	64	2	3,1	71	3	4,2
r=	-0,98	-0,97	-0,99	-0,98	-0,99	-0,95	-0,96	-0,99	-0,83

et dans les variantes traitées avec le fongicide Shirlan, elle a varié de 3,1 à 5,1 % (r = -0,95). Dans les variantes traitées avec le fongicide Infinito, l'incidence est comprise entre 4,2 et 6,8 % (avec r = -0,83) (Tableau 2).

Les résultats de la recherche ont montré qu'il existe une dépendance inverse entre la sévérité du mildiou et la densité de plantation dans toutes les variantes de l'expérience (contrôle, traitement au Shirlan et Infinito). Dans la variante de contrôle, la sévérité du mildiou (*Phytophthora infestans*) est passée de 19,2 à 29,7 %, avec un score moyen de 0,77 à 1,19. Dans

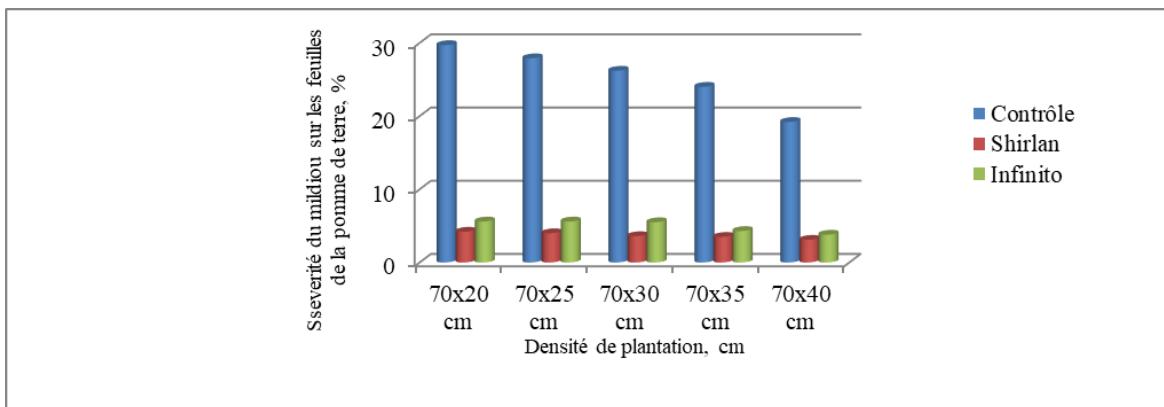
les variantes traitées au Shirlan, la sévérité du mildiou a varié de 3,1 à 4,2 %, avec un score moyen de 0,12 à 0,17. Avec le traitement au fongicide Infinito, la sévérité du mildiou a varié de 3,8 à 5,6 %, avec un score moyen de 0,15 à 0,22 (Tableau 3).

*Tableau 3 : Sévérité du mildiou (*Phytophthora infestans*) sur les feuilles de la pomme de terre en fonction de la densité de plantation et de l'application de fongicides, période de végétation, (%)*

Densité de plantation, (cm)	Contrôle		Shirlan		Infinito	
	score moyen des lésions	Sévérité, %	score moyen des lésions	Sévérité, %	score moyen des lésions	Sévérité, %
70x20	1,19	29,7	0,17	4,2	0,22	5,6
70x25	1,11	27,9	0,16	4,0	0,22	5,6
70x30 (c)	1,04	26,2	0,14	3,6	0,22	5,5
70x35	0,96	24,0	0,14	3,5	0,17	4,3
70x40	0,77	19,2	0,12	3,1	0,15	3,8
r=	-0,97	-0,97	-0,97	-0,99	-0,89	-0,91

Les données ci-dessus ont montré que la sévérité du mildiou dans tous les traitements de l'expérience (contrôle, traitement avec Shirlan et Infinito) dépend inversement de la densité de plantation. En d'autres termes, plus la densité de plantation est petite, plus

la sévérité est élevée $r = -0,97$ dans la variante contrôle et $r = -0,99$ dans les variantes avec le traitement au fongicide Shirlan et $r = -0,91$ lors de l'application du fongicide Infinito.



*Figure 1 : Sévérité du mildiou (*Phytophthora infestans*) sur les plants de pomme de terre en fonction de la densité de plantation et de l'application de fongicides, (%)*

Pendant la période de conservation, les tubercules de pomme de terre ont été affectés par 5 types de maladies à savoir le mildiou (*Phytophthora infestans*), la gangrène ou tache en coup de pouce

(*Phoma exigua*), le rhizoctone (*Rhizoctonia solani*), la pourriture sèche de la pomme de terre (*Fusarium solani*) et la pourriture annulaire (*Corynebacterium sepedonicum*).

Tableau 4 : Incidence des maladies sur les tubercules de la pomme de terre pendant la période de stockage, (%)

Densité de plantation, (cm)	Phytophthora infestans, Phoma exigua, Rhizoctonia solani, Fusarium solani, Corynebacterium sepedonicum, %			Rhizoctonia solani, %			Incidence totale, %		
	Contrôle	Shirlan	Infinito	Contrôle	Shirlan	Infinito	Contrôle	Shirlan	Infinito
70x20	22,3	9,2	5,1	7,5	3,7	2,0	29,8	12,9	7,1
70x25	19,7	7,4	4,9	6,7	3,0	2,0	26,4	10,4	6,9
70x30 (c)	15,6	6,4	3,6	6,0	2,2	1,7	21,6	8,6	5,3
70x35	15,2	2,8	2,9	6,0	1,7	1,7	21,2	4,5	4,6
70x40	11,0	3,1	2,9	3,2	1,0	1,5	14,2	4,1	4,4
r=	-0,98	-0,96	-0,95	-0,91	-0,99	-0,95	-0,97	-0,98	-0,96

L'analyse des résultats du tableau 4 montre qu'il existe une relation inverse directe entre l'incidence (%) des maladies et la densité de plantation. La dépendance est forte (-0,91...-0,99) dans tous les traitements, quel que soit le type de fongicide. L'incidence la plus élevée sur les tubercules a été causée par le champignon rhizoctone. Ainsi, dans le traitement contrôle, l'incidence a atteint 7,5 % dans les plantations denses et 3,2 % dans les plantations clairsemées. Dans le traitement avec le fongicide Shirlan, les tubercules ont été moins affectés par le champignon rhizoctone pendant leur stockage, l'incidence est de 3,7 % dans les plantations denses et de 1,0 % dans les plantations clairsemées. Avec le

Tableau 5 : Efficacité économique de la culture de pomme de terre, cas de la variété Gala en fonction de la densité de plantation et de l'application des fongicides

Densité de plantation, (cm)	Rendement, t/ha	Vente des Produits par hectare, roubles	Dépenses		Bénéfice ou profit, roubles/ha	Coût de production d'une tonne, roubles	Rentabilité %.
			par 1 ha, en mille/roubles	Y compris les semences, en %.			
Contrôle (non traité, facteur A)							
70x20	27.3	322 140	258.4	78.40	63 724	9 466	24.66
70x25	27.9	329 220	212.6	76.34	116 596	7 621	54.84
70x30 (c)	27.0	318 600	175.3	74.25	143 280	6 493	81.73
70x35	24.9	293 820	160.2	72.57	133 589	6 435	83.37
70x40	22.7	267 860	143.8	70.87	124 021	6 336	86.22
Traitement avec "Shirlan" (facteur B)							
70x20	33.2	391 760	260.7	78.40	130 960	7 855	50.21
70x25	35.4	417 720	215.0	76.34	202 686	6 074	94.26
70x30 (c)	34.0	401 200	182.2	74.25	218 904	5 362	120.08
70x35	36.6	431 880	162.7	72.57	269 172	4 446	165.43
70x40	32.9	388 220	146.2	70.87	241 930	4 447	165.37
Traitement avec "Infinito" (facteur B)							
70x20	34.0	401 200	280.0	78.40	121 123	8 238	43.25
70x25	33.9	400 020	231.0	76.34	169 018	6 814	73.17
70x30 (c)	26.9	317 420	197.0	74.25	120 340	7 327	61.06
70x35	26.2	309 160	173.0	72.57	136 078	6 606	78.62
70x40	19.1	225 380	154.9	70.87	70 405	8 114	45.43

L'analyse de l'efficacité économique a montré qu'au cours des années de recherche, le coût de production a fluctué entre 4 446 et 9 446 roubles/t, le bénéfice entre 63 724 et 269 172 roubles/ha et le niveau de rentabilité entre 24,66 et 165,43%. Il est

traitement au fongicide Infinito, l'incidence est de 2,0% dans les plantations denses et 1,5% dans les plantations clairsemées.

L'efficacité économique est l'effet bénéfique final de l'utilisation des moyens de production et du travail vivant, le rendement de l'investissement total. En agriculture, il s'agit d'obtenir la quantité maximale de produits par unité de surface avec le moins de travail et de coût possible. L'évaluation économique permet de déterminer l'efficacité des résultats obtenus et de choisir la variante la plus optimale.

Les résultats de la recherche sur les indicateurs économiques sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Efficacité économique de la culture de pomme de terre, cas de la variété Gala en fonction de la densité de plantation et de l'application des fongicides

économiquement efficace de planter des tubercules de pomme de terre avec l'application du fongicide Shirlan dans le traitement 70 cm x 35 cm avec le moindre coût de production (4 446 roubles/t), le bénéfice le plus élevé (269 172 roubles/ha) et la rentabilité plus élevée (165,43%) ont été obtenus.

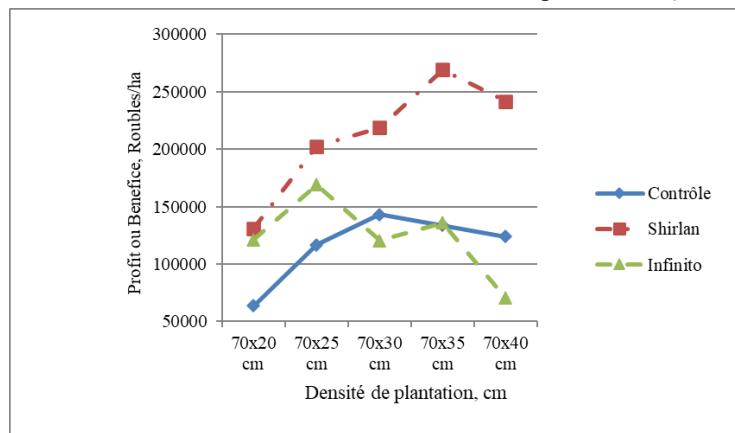


Figure 2 : Bénéfice en fonction de la densité de plantation et de l'application de fongicides, (roubles/ha)

4. CONCLUSIONS

1. Les résultats de recherche ont montré que l'incidence du mildiou (*Phytophthora infestans*) a augmenté de 17,1 à 20,4% dans le traitement de contrôle et n'a pas dépendu de la densité de plantation ($r = 0,05$). Après le traitement au fongicide Shirlan, l'incidence de la maladie a diminué de 3 fois, indépendamment de la densité de plantation ($r = -0,85$). L'application du fongicide Infinito a réduit la propagation de la maladie de 2,6 à 3,0 fois avec $r = -0,67$. L'incidence de l'alternariose (*Alternaria solani*) était de 15,6 % ($r = -0,99$) dans la variante contrôle, dans les variantes traitées avec le fongicide Shirlan, l'incidence était comprise entre 3,1 et 5,1 % ($r = -0,95$). Dans les variantes traitées avec le fongicide Infinito, elle était comprise entre 4,2 et 6,8 % (avec $r = -0,83$).
2. Dans la variante contrôle, la sévérité du mildiou (*Phytophthora infestans*) est passée de 19,2 à 29,7 %, avec un score moyen de 0,77 à 1,19. Dans la variante traitée au Shirlan, la sévérité du mildiou a varié de 3,1 à 4,2 %, avec un score moyen de 0,12 à 0,17. Lors du traitement avec le fongicide Infinito, la sévérité du mildiou a varié de 3,8 à 5,6 %, avec un score moyen de 0,15 à 0,22.
3. Les résultats de l'analyse des tubercules pendant le stockage 40 jours avant la plantation de la pomme de terre ont permis d'identifier 5 types de pathogènes sur les tubercules: *Phytophthora infestans*, *Phoma exigua*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* et *Corynebacterium sepedonicum*. Cependant, il existe une relation inverse directe entre l'incidence des maladies et la densité de plantation, plus la densité de plantation est petite, plus l'incidence est importante dans tous les traitements, quel que soit le type de fongicide. L'incidence la plus élevée a été enregistrée avec le champignon rhizoctone dans la variante de contrôle et a atteint 7,5% au niveau des plantations denses et 3,2% au niveau des plantations clairsemées. Par contre les tubercules de la pomme de terre ont été moins attaqués par la pourriture annulaire avec 3,7% au

niveau des plantations denses et 1,0% au niveau des plantations clairsemées.

4. L'analyse statistique des données a montré que le rendement le plus élevé – 36,6 t/ha a été obtenu dans la variante 70 cm x 35 cm (facteur A) avec le coût de production de 4 446 roubles/t, soit 40 014 FCFA/t, le bénéfice s'élève à 269 172 roubles/ha, soit 2 422 548 FCFA/ha et la rentabilité est de 165,43%.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bourke A. (1993). The visitation of god. The potato and the great Irish famine. Lilliput Press, Ltd., Dublin, Ireland.
2. DIAKITE L., ZIDA M. Etude diagnostique de la filière pomme de terre dans trois pays de l'Afrique de l'Ouest, Volume II: Cas du Mali, Rapport final, Mali 2003, 71 pages.
3. Dougoud J., Clottey V., Bateman M. et Wood A. Etude sur la protection des cultures dans les pays où le programme 'centres d'innovations vertes pour le secteur agro-alimentaire' est actif. Rapport national pour le 'centre d'innovations vertes' (CIV) au Mali, 2018, 90 pages.
4. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO (2018). The state of food security and nutrition in the world 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. FAO, Rome.
5. Haverkort A J. Struik P C, Visser RGF, Jacobsen E (2009). Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. Potato Res 52 (3): 249-264.
6. International Potato Center (2007) Annual report 2007: root and tubers the overlooked opportunity. International Potato Center
7. Ivenin, V.V. Caractéristiques agro-techniques de la culture de la pomme de terre, Maison d'édition "Land", 2015, 336 pages.
8. Jellis, G.J. Damage and loss caused by potato diseases. In plant diseases: infection, damage and loss, Oxford, 1984. Eds. Blackwell Scientific Publications, Pp. 255-266-327.
9. Kolobkov, E.V. Protection des plantes dans les conditions agro-climatiques du Moyen Oural, Recommandations pratiques et scientifiques, Ekaterinbourg, Institut de recherche de l'Oural sur la protection des plantes, l'académie des sciences agronomiques <>Rosselkhozakadem>>, 2012, 184 pages.
10. SIDIBE A., MOHOMODOU F., SANOGO N. Etude de l'influence de la densité de plantation sur la production de deux variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) dans les conditions agro-climatiques de Katiougou, Mali / Afrique SCIENCE 14 (5) (2018), Pp. 252-268.
11. WU W, Yu Q, You L, Chen K, Tang H, Liu J (2018) Global cropping intensity gaps: increasing food production without cropland expansion. Land Use Policy 76:515-525

Effets de Densité sur les Paramètres Agro-morphologiques de Trois Variétés de Pomme de Terre (*Solanum tuberosum L.*) en zone Soudano-Sahélienne Katibougou, Koulikoro au Mali

Moussa Dramane TRAORE^{1*}, Aly KANSAYE¹, Chiaka DIALLO¹, Hamidou SENOU¹, Kassim DIARRA¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Koulikoro, Mali,
Laboratoire Agro-physio-génétique et de Biotechnologies Végétales.

* traorem2010@gmail.com

RESUME : Pour répondre aux défis de l'autosuffisance alimentaire, le laboratoire d'Agro-physio-génétique et de Biotechnologies végétales de l'IPR/IFRA de Katibougou est à la recherche de variétés et de densités de plantation pour la production de la pomme de terre à grande échelle. Le matériel végétal utilisé était constitué de tubercules de trois variétés : Sahel, Claustar et SNKAT8. Le dispositif expérimental utilisé était le bloc de Fisher à trois répétitions. Les essais ont été installés sur un sol de type limoneux-sablonneux. Deux facteurs ont fait l'objet d'étude : la variété et la densité de plantations prises à trois niveaux de variations chacun. Les observations ont été le paramétrage agronomique. Le Genstat a été utilisé pour l'analyse des données. Les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Newman et Keuls au seuil de 5 %. L'analyse de variance du taux de levée 7-14-21 JAP a montré une différence hautement significative ($P < 0,05$) entre les variétés ainsi qu'aux 30 et 45 JAP pour le diamètre au collet. Par rapport à la hauteur moyenne des plants 30 JAP, l'analyse de variance a montré une différence significative entre les variétés et les densités de plantation ($P < 0,05$). Quant au nombre de feuilles 30 et 45 JAP, une différence hautement significative a été observée ($P < 0,05$). Le nombre moyen de tubercules par calibre ($\leq 40\text{mm}$ et $\geq 40\text{ mm}$) n'a pas montré de différence significative entre les variétés ($P > 0,05$), par contre entre les densités, il existe une différence significative ($P < 0,05$). Quant au poids moyen des tubercules par poquet une différence hautement significative ($P < 0,05$) est entre les variétés avec 463,7g le plus élevé et les densités 465,8 g. L'analyse de variance du rendement des tubercules de calibres $\geq 40\text{mm}$ et $\leq 40\text{mm}$ a montré une différence hautement significative entre les variétés et les densités ($P < 0,05$) avec respectivement 20,46 t pour V3 (SNKAT8) et 14,16 t pour V1 (Sahel). Le rendement à l'hectare a fait ressortir une différence hautement significative ($P < 0,05$) entre tous les facteurs (variété et densité) avec 41,45 tonnes pour V3D1.

Mots clés : Densité, pomme de terre, variété, agro-climatique, Katibougou

INTRODUCTION

L'économie malienne repose essentiellement sur le secteur rural qui occupe environ 80% de la population active. La contribution du sous-secteur de l'agriculture au PIB est estimée à 46 % [1]. La pomme de terre est une plante herbacée, vivace, mais cultivée en culture annuelle le plus souvent [2]. Elle est classée quatrième culture la plus importante dans le monde après le riz, le maïs et le blé. La culture de la pomme de terre est une culture prometteuse qui offre de nombreux atouts du point de vue agronomique. Son potentiel de rendement est important (20 à 30 t /ha) du point de vue nutritionnel. Elle est classée parmi les plantes à tubercule les plus nutritives avec une teneur énergétique élevée. Très appréciée par les populations, elle constitue la culture de rente pour de nombreux agriculteurs [3]. La filière « pomme de

terre » a une importance économique où la consommation annuelle de la production locale ne dépasse pas 2,4 kg/an [4]. La production mondiale de la pomme de terre de 2015-2017 était de 376 577 033 t -338 190 674 t sur une superficie de 18 913 868 ha-19 302 642 ha. Le Mali a importé près de 7740 t de pomme de terre de consommation et 4246,3tonnes de semences [5]. Sa culture est pratiquée dans la plupart des régions du Mali (Sikasso, Koulikoro, Ségou, Kayes, et Gao) [6]. Pour contribuer à la résolution de la dépendance en semences de pomme de terre, le laboratoire d'Agro physio génétique et de Biotechnologies végétales de l'IPR/IFRA de Katibougou a mis en place un schéma de production de semences de pomme de terre pour satisfaire les besoins des populations locales [7]. La densité étant le nombre de plants par unité de surface en culture, le

Tableau 1: Caractéristiques des variétés

N°	Variété	Cycle	Zone climatique	Rendement (t/ha)	T° nocturne (°C)	Sensibilité aux maladies
1	Sahel	90 jrs	Tropicale	15-20	15-20 ou +	Mildiou, galle
2	Claustar	100 jrs	Tempérée et Méditerranéenne	10-15	15-20	Mildiou, galle
3	SN-KAT-08			15-20	15-20	Mildiou, galle

choix d'une bonne densité de plantation peut avoir un impact significatif sur la production et le calibre des tubercules [8] ; [9] ; [4]. C'est à cet effet que cette étude fut initiée pour évaluer l'impact de trois densités sur trois variétés de pomme de terre dans les conditions agro-climatiques de Katibougou. L'objectif général était de contribuer à l'amélioration de la productivité de la pomme de terre au Mali. Les objectifs spécifiques sont :

Déterminer l'effet de trois densités de plantation sur la croissance de pomme de terre ; déterminer la meilleure densité de plantation pour la production de tubercules de pomme de terre ; déterminer la variété la plus productive.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Site et type de sol :

L'essai a été implanté en plein sur un sol de type ferrugineux tropical hydromorphe et à fort battement de nappes.

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué de trois variétés de pomme de terre : Sahel, Claustar et SNKAT8 [10] (Tableau 1).

Méthodes

L'essai a été implanté dans un dispositif en bloc de Fisher à trois répétitions. Chaque répétition était composée de neuf traitements à savoir : V1D1, V1D2, V1D3, V2D1, V2D2, V2D3, V3D1, V3D2, V3D3. La dimension des parcelles élémentaires dans chaque répétition était de 4 m de long et 1 m de large soit 4 m^2 de 2 lignes.

Facteurs étudiés

Deux facteurs ont fait l'objet d'étude à savoir : la variété prise à trois niveaux de variation (Claustar, (Sahel) et SNKAT8) et la densité à trois niveaux de variation (E1, E2, E3)

Traitements

Les traitements, au nombre de 09 correspondent aux combinaisons suivantes :

- V1D1 : Sahel (0,50 m x 0,20 m);
- V1D2 : Sahel (0,50 m x 0,30 m);
- V1D3 : Sahel (0,50 m x 0,40 m);
- V2D1: Claustar (0, 50 m x 0, 20 m);
- V2D2: Claustar (0, 50 m x 0, 30 m);
- V2D3: Claustar (0, 50 m x 0, 40 m);
- V3D1: SNKAT08 (0, 50 m x 0, 20 m);
- V3D2: SNKAT08 (0, 50 m x0, 30 m);
- V3D3: SNKAT08 (0, 50 m x 040 m).

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé a été le bloc de Fisher à 3 répétitions ou blocs.

Méthodes d'analyse :

L'analyse de variance des données collectées a été faite avec le logiciel Gentsat. Les comparaisons des moyennes ont été faites avec le test de Newman et Keuls au seuil de 5%.

Conduite de l'essai

- Préparation du terrain

Un nettoyage a été effectué avant l'implantation. Il a consisté à éliminer les mauvaises herbes à l'aide des instruments : râteaux, dabas et machettes. Après la parcelle a été arrosé pour humidifier le sol, le labour a été fait à plat à l'aide d'un tracteur à 25 cm de profondeur, puis la délimitation de la parcelle avec la méthode 3-4-5 qui consiste à déterminer les angles droits des quatre côtés de la parcelle.

- Confection des planches

La confection des planches a été faite conformément au protocole expérimental. Les dimensions de la parcelle pour l'installation de l'essai sont les suivantes :

4 m x 1 m, soit 4 m^2 ; avec une allée de 0,40 m entre les traitements. Chaque bloc mesure 12,2m de longueur et 4m de largeur ce qui fait 12,2 m x 4 m soit $48,8 \text{ m}^2$ avec des allées 1 m entre les blocs. La superficie totale de l'essai : 14m de longueur et 12,2 m de largeur ce qui fait 14 m x 12,2 m soit $170,8 \text{ m}^2$ (Figure1).



Figure 1 : vue des planches confectionnées

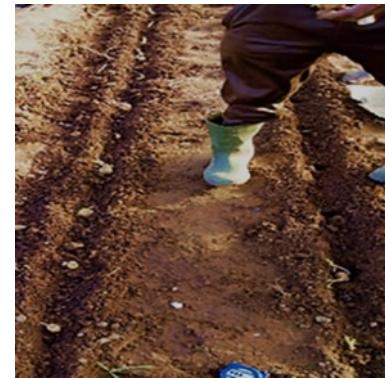


Figure 2 : Plantation des plants



Figure 3 : Plants buttés

- Apport de fumure de fond

La fumure organique (fumure Ovine) a été apportée à raison de 20 t/ha soit 8 kg/planche comme fumure de fond. Après épandage elle a été enfouie suivi d'un arrosage léger.

- Plantation

La plantation a consisté à mettre les tubercules entiers de pomme de terre par poquet d'une profondeur d'environ 5 cm en deux lignes dans chaque planche (Figure 2). Elle a été effectuée manuellement. Les écartements ont été D1 (0,50 m x 0,20 m) soit 40 poquets, D2 (0,50m x 0,30 m) soit 26 poquets, D3 (0,50 m x 0,40 m) soit 20 poquets.

- Travaux d'entretien

- Irrigation

Après la plantation, un volume de 10 litres par planche durant une semaine a été appliqué et la seconde semaine 20 litres par planche pour éviter le tassement du sol et le pourrissement des tubercules.

- Désherbage manuelle

Le désherbage a été manuel qui consiste à enlever ou déterrre les mauvaises herbes à la main. Il a pour but de diminuer la concurrence entre les plants et les mauvaises herbes par la lumière, l'eau, l'air et les éléments nutritifs.

- Sarclo-binage

Le Sarclo-binage est une opération qui a consisté non seulement à briser la croûte superficielle autour des plantes mais aussi enlever les mauvaises herbes en même temps. Elle a permis d'ameublir le sol, faciliter l'infiltration de l'eau et la circulation de l'air.

- Fertilisation minérale

La fumure minérale à la dose 600 kg / ha en 02 fractions au moment du sarclage et au buttage. La formule de complexe céréale 17-17-17. (N-P-K) dans chaque parcelle élémentaire soit 120 g. la quantité totale apportée à la surface utile était 3,34 kg.

- Buttage

Le buttage à consiste à ramener de la terre meuble au pied des plants. Il permet de provoquer la multiplication des stolons, de favoriser la

tubérisation, de mettre à l'abri de la lumière les organes souterrains afin d'éviter le verdissement des tubercules et de maintenir une humidité constante autour des plants (Figure3).

RESULTATS ET DISCUSSION

Taux de levée des variétés

L'analyse de variance du taux de levé 7-14 et 21 JAP (Tableau 2) a montré une différence hautement significative. La variété Claustar a eu un taux en pourcentage plus élevé avec une moyenne de 54,67 % et le plus faible a été obtenu par la variété SNKAT08 avec un taux 39,33 % à 7 JAP. A 14 JAP. La variété Sahel avec un taux plus élevé avec une moyenne de 93,00% et le plus faible a été enregistrée à la variété SNKAT08 avec 79,44 %. Au 21 JAP, la variété Claustar a donné le pourcentage le plus élevé avec un taux de 99,44 % et le plus faible a été enregistré à la variété SNKAT08 avec 94,11 %. Par rapport à la densité, l'analyse a montré une différence hautement significative après la première semaine. La densité D3 (0,5mx 0,40m) a eu 52,78 % et le plus faible a été obtenu à la densité D1 (0,5 m x 0,20 m) avec 44,33 %. A 21 JAP, elle n'a pas montré de différence significative.

Diamètre au collet

L'analyse de variance du diamètre au collet a permis de déceler une différence hautement significative entre les variétés. Le plus gros diamètre au collet a été enregistré par la variété Claustar avec 6,11 mm et le plus petit diamètre a été obtenu par la variété SNKAT08 avec 5,14 mm. Quant à la densité de plantation, une différence significative a été observée avec une probabilité de 0,038. A 45 JAP, elle a révélé une différence hautement significative (Tableau 3). Le plus gros diamètre au collet a été obtenu par la densité D3 avec moyenne de 8,10 mm.

Tableau 2 : Synthèse des données sur le taux de levée 7-14-21 JAP

Facteur 1 : Variétés	Taux de levée (%)		
	7 JAP	14 JAP	21 JAP
V1 (Sahel)	52,67a	93,00a	96,11ab
V2 (Claustar)	54,67a	92,78a	99,44a
V3 (SNKAT08)	39,33b	79,44b	94,11b
Probabilité	0,001	0,001	0,012
Signification	HS	HS	S
Facteur 2 (Densités)			
D1 (0,5m x 0,20 m)	44,33b	86,89b	99,44
D2 (0,5m x 0,30 m)	49,56a	91,11a	97,67
D3 (0,5m x 0,40 m)	52,78a	87,22b	96,11
Probabilité	0,001	0,022	0,485
Signification	HS	S	N

Tableau 3: Analyse de variance du diamètre au collet 30 et 45 JAP

Facteur 1 : Variétés)	Diamètre au collet	
	30 JAP	45 JAP
V1 (Sahel)	5,878a	7,122b
V2 (Claustar)	6,111a	7,500ab
V3 (SNKAT08)	5,144b	7,911a
Probabilité	0,001	0,008
Signification	HS	HS
Facteur 2 (Densités)		
D1 (0,5m x 0,20 m)	5,411b	7,022b
D2 (0,5m x 0,30 m)	5,789ab	7,41b
D3 (0,5m x 0,40 m)	5,933a	8,10a
Probabilité	0,038	0,001
Signification	S	HS

Tableau 4 : Synthèse des données sur la hauteur des plants 30 et 40 jours après la plantation:

Facteur 1 : Variétés	Hauteur des plants	
	30 JAP	45 JAP
V1 (Sahel)	12,46b	19,81c
V2 (Claustar)	13,77a	22,99a
V3 (SNKAT08)	13,80a	22,37b
Probabilité	0,001	0,001
Signification	S	HS
Facteur 2 (Densités)		
D1 (0,5m x 0,20 m)	12,71b	21,07b
D2 (0,5m x 0,30 m)	13,82a	20,60c
D3 (0,5m x 0,40 m)	13,49a	23,50a
Probabilité	0,013	0,001
Signification	S	HS

Tableau 5 : Synthèse des données sur le nombre de feuille 30 et 45 JAP

Facteur 1 : Variétés	Nombre de feuilles / plant	
	30 JAP	45 JAP
V1 (Sahel)	10,81b	12,88b
V2 (Claustar)	12,14a	13,22b
V3 (SNKAT08)	10,94b	14,79a
Probabilité	0,001	0,001
Signification	HS	HS
Facteur 2 (Densités)		
D1 (0,5 m x 0,20 m)	10,97	12,76b
D2 (0,5 m x 0,30 m)	11,37	13,91a
D3 (0,5 m x 0,40 m)	11,57	14,22a
Probabilité	0,081	0,001
Signification	NS	HS

Tableau 6: Analyse de variance du nombre de tubercule par calibre

Facteur 1 : Variétés	Calibre	
	> 40 mm	< 40 mm
V1 (Sahel)	3,27	14,60a
V2 (Claustar)	3,72	14,59a
V3 (SNKAT08)	3,98	13,07b
Probabilité	0,081	0,001
Signification	NS	HS
Facteur 2 (Densités)		
D1 (0,5 m x 0,20 m)	3,333b	12,36b
D2 (0,5 m x 0,30 m)	3,511ab	14,98a
D3 (0,5 m x 0,40 m)	4,122a	14,91a
Probabilité	0,042	0,001
Signification	S	HS

Avec : JAP : jour après plantation ; S : significative ; NS Non significative ; HS hautement significative.

Les lettres d'une même colonne représentent des différences significatives entre les moyennes des densités et les variétés selon le test de Fisher au seuil de 5% ;

Hauteur moyenne des plants

L'analyse de variance de la hauteur moyenne des plants 30 JAP entre les variétés et les densités de plantation ont toutes montré une différence significative (Tableau 4). La plus grande hauteur a été obtenue par la variété SNKAT08 avec 13,80 cm. Entre les densités, D2 (0,5m x 0,30 m) a enregistré la plus grande hauteur avec de 13,82 cm. Après 45JAP, une différence hautement significative a révélé entre les variétés et les densités (Tableau 4). La plus grande hauteur a été enregistrée par la variété Claustar avec 22,99 cm et la plus petite par la variété Sahel avec 19,81 cm. La densité D3 (0,5 m x 0,40 m) a donné 23,50 cm contre 20,60 cm pour D2 (0,5m x 0,30 m).

Les lettres d'une même colonne représentent des différences significatives entre les moyennes des densités et les variétés selon le test de Fisher au seuil de 5% ; JAP : jour après plantation ; S : significative, HS : hautement significative.

Nombre moyen de feuilles

L'analyse de variance du nombre de feuilles a montré une différence hautement significative entre les variétés (tableau 5). La variété Claustar a donné le plus grand nombre de feuilles par rapport aux autres variétés avec 12,14, et la variété Sahel a enregistré le plus petit nombre de feuilles. À 45JAP la variété SNKAT08 a enregistré le plus grand nombre de feuille avec 14,79 et le plus petit a été obtenu à la variété Sahel avec 12,88. Mais à 30JAP, aucune différence significative n'a été constatée entre les densités.

Nombre de tubercule par calibre A et B

L'analyse de variance du nombre de tubercules de calibre A, n'a montré aucune différence significative entre les variétés (Tableau 6) par contre la densité de plantation a montré une différence significative. Le plus grand nombre tubercules de calibre A a été enregistré par la densité D3 (0,5 m x 0,40 m) avec 4,122. Cependant pour le calibre B, la différence a été hautement significative entre les variétés et les densités. La variété Sahel a donné le plus nombre de tubercules de calibre B et la densité (D2 (0,5m x 0,30 m) a enregistré (14,98).

Tableau 7 : Analyse de variance du poids des tubercules (en quoi ?)

Facteur 1 : Variétés	Poids moyen
V1 (Sahel)	381,0b
V2 (Claustar)	394,0b
V3 (SNKAT08)	463,7a
Probabilité	0,001
Signification	HS
Facteur 2 (Densités)	
D1 (0,5 m x 0,20 m)	366,4c
D2 (0,5 m x 0,30 m)	406,6b
D3 (0,5 m x 0,40 m)	465,8a
Probabilité	0,001
Signification	HS

Tableau 8 : Analyse de variance du rendement par calibre

Facteur 1 :	Calibre A et B.	
	≥ 40 mm	≤ 40 mm
V1 (Sahel)	12,93c	14,16a
V2 (Claustar)	15,27b	12,07b
V3 (SNKAT08)	20,46a	12,14b
Probabilité	0,001	0,001
Signification	HS	HS
Facteur 2 (Densités)		
D1 (0,5m x 0,20 m)	20,19a	16,39a
D2 (0,5m x 0,30 m)	14,68b	12,49b
D3 (0,5m x 0,40 m)	13,79c	9,49c
Probabilité	0,001	0,001
Signification	HS	HS

Tableau 9 : Analyse de variance sur le rendement en hectare

Facteur 1 :	Rendement / ha
Variétés	
V1 (Sahel)	27,09b
V2 (Claustar)	27,34b
V3 (SNKAT08)	32,60a
Probabilité	0,001
Signification	HS
Facteur 2 (Densités)	
D1 (0,5 m x 0,20 m)	36,57a
D2 (0,5 m x 0,30 m)	27,16b
D3 (0,5 m x 0,40 m)	23,29c
Probabilité	0,001
Signification	HS
F1*F2 (Variétés*Densités)	
V3D1	41,45

Poids moyen de tubercules

L'analyse de variance du poids moyen de tubercules par poquet a montré une différence hautement significative entre les variétés et les densités (Tableau 7). Le plus grand poids moyen a été obtenu par SNKAT08 avec 463,7 g/poquet et le plus faible a été enregistré par la variété Sahel avec 381,0 g/poquet. La densité D3 (0,5 m x 0,40 m) a eu le plus grand poids 465,8 g/poquet et le plus faible a été obtenu à la densité D1 (0,5 m x 0,20 m) avec 366,4 g/poquet.

Les lettres d'une même colonne représentent des différences significatives entre les moyennes des densités et les variétés selon le test de Fisher au seuil de 5 %, JAP : jour après plantation ; HS : hautement significative, S : significative.

Rendement des tubercules par calibre

L'analyse de variance du rendement des tubercules ≥ 40 mm et ≤ 40 mm a permis de montrer une différence hautement significative entre les variétés et les densités de plantation, (Tableau 8). La variété SNKAT08 a donné le rendement le plus élevé avec une moyenne de 20,46 t/ha et le plus petit a été enregistré par la variété Sahel avec une moyenne de 12,93 t/ha. La densité D1 (0,50 m x 0,20 m) a donné le plus grand poids avec une moyenne 20,19 t/ha et la densité D3 (0,50 m x 0,40 m) a eu le plus faible rendement avec une moyenne de 13,79 t/ha. Pour les tubercules ≤ 40 mm, la variété Sahel

(V1) a obtenu le plus grand rendement avec 14,16 t/ha et le plus faible a été obtenu par la variété Claustar avec 12,07 t/ha, et entre les densités, la densité D1 a enregistré le plus grand poids avec une moyenne de 16,39 t/ha et le plus petit a été obtenu à la densité D3 avec 9,49 t/ha.

Rendement en hectare

L'analyse de variance du rendement à l'hectare fait ressortir une différence hautement significative (Tableau 9) entre tous les facteurs (les variétés, les densités). La variété SNKAT08 a donné le plus grand rendement à l'hectare avec une moyenne de 32,60 t et le plus petit a été enregistré par la variété Sahel avec 27,09. Entre les densités de plantation, la densité D1 (0,5 m x 0,20 m) a donné le plus grand rendement à hectare avec 36,57 t/ha et le plus petit a été enregistré par la densité D3 (0,5 m x 0,40 m) avec 23,29 t/ha. L'interaction entre les variétés et les densités a été plus favorable avec V3D1 avec 41,45t/ha.

CONCLUSION

De cette étude nous retenons : Le comportement de chaque variété par rapport au taux de levée a été déterminé selon trois dates d'observation ainsi que les densités de plantation convenable. Pour déterminer la vigueur des plants le diamètre au collet a été mesuré pour chaque variété et densité. Les traitements vigoureux ont été déterminés. Des paramètres morphologiques comme la hauteur des plants, le nombre de feuilles, il ressort que les facteurs (variété et densité) n'ont influencé ces paramètres. En fonction des variétés et des différentes densités, les tubercules conformes à la consommation et à aux semences ont été déterminés. Des paramètres agronomiques comme le poids des tubercules, par poquet et par calibre ont permis de déterminer le rendement à l'hectare en fonction des densités de plantation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DEMBELE M, 2020 : Effets de biostimulant Aquasap et du sectionnement de tubercules sur la production de la variété sahel de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) dans les conditions agro-climatiques de Katibougou, Mémoire de Fin de Cycle, 66pages.
- [2] DAOUD H et DOUDOU O, 2017 : Etude comparative de 14 variétés de pomme de terre cultivée (*Solanum tuberosum* L.) dans la région de Mostaganem, soutenu le 14 septembre 2017 sur le mémoire de fin d'étude, PP 2-10-11-17.
- [3] FAO. 2008 : Lutte contre la faim en Afrique de l'ouest 120 pages.
- [4] DIARRA Djouma et COULIBALY Breïma, 2019 : Rapport de fin de cycle effets de trois densités de plantation sur la production de la pomme de terre, page
- [5] GIP-Mali, 2014. *Rapport bilan de la campagne de pomme de terre*, 9 pages.
- [6] TRAORE Marie et DAOU Lassina, 2015 : Etude comparative de 21 variétés de pomme de terre Solanum

- tuberosum en zone soudano sahélienne de Katibougou, rapport de fin de cycle, p1-8
- [7] MONTCHO N. 2015 : Evaluation de 10 clones de pomme de terre *Solanum tuberosum L.*) en zone soudano sahélienne de Katibougou page 9 à 13
- [8] VANDERHOFSTDT B. 2011 : Rapport de la mission d'étude de la faisabilité de la mise en place d'une filière « Plant de pomme de terre au Mali » 60 Pages
- [9] Youssouf YANOGUE, 2018 Influence de la densité de plantation sur la production de deux variétés de la pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) Claustar et Sahel dans les conditions de Katibougou.
- [10] LAMISSA DIAKITE, agroéconomiste consultant et MATHURIN ZIDA, agronome consultant, 2003 : Etudes diagnostiques de la filière pomme de terre dans trois pays de l'Afrique de l'Ouest

Influence de la Densité de Semis sur la Production de la Betterave Potagère (*Beta vulgaris*) dans les Conditions Agro-climatiques de Katibougou, Koulikoro, Mali

Gaoussou Kader KEÏTA^{1*}, Adama BERTHE¹, Samassé DIARRA¹, Ibrahima SAMAKE¹, Laya KANSAYE¹, Fousseyni SACKO¹, Nadou Paul SANOGO¹

¹Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPRIFRA) de Katibougou.

* Gaoussoukadrr7@gmail.com

RESUME : La betterave rouge, *Beta vulgaris* est un légume cultivé pour sa racine consommée en salade, crue ou cuite. Cependant la culture ne fait pour l'instant l'objet d'aucun investissement au Mali et les techniques de production restent peu maîtrisées. Ainsi, pour contribuer à l'amélioration de la productivité de cette culture au Mali, l'étude de l'influence de la densité de semis de la betterave potagère sur la production a été conduite en saison sèche fraîche en station au potager de Katibougou en zone soudanienne sur l'isohyète 800 mm. Le matériel végétal utilisé est constitué d'une variété de betterave, Detroit Short Top, très productive. La fumure organique la fiente de volaille décomposée à la dose (10 t/ha) et 504g de complexe céréale de formule 17-17-17. Le dispositif expérimental était en bloc de Fisher. Trois niveaux de densités (D1 : 444 444 plants / ha ; D2 : 333 333 plants / ha et D3 : 250 000 plants / ha) correspondant respectivement aux écartements 15 cm × 15 cm, 20 cm × 15 cm et 20 cm × 20 cm ont été appliqués. Les observations ont porté sur le diamètre moyen au collet, la hauteur moyenne des plants, le nombre moyen de feuilles et le rendement. Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance sous le logiciel GENSTAT Edition 12 au seuil de 5%. Le test de Newman – Keuls a été appliqué pour la comparaison des moyennes des traitements. Les résultats ont montré que la densité D3 (20 cm × 20 cm) a eu la meilleure performance en diamètre moyen au collet (1,86cm), en nombre moyen de feuille avec 12,21 feuilles, la hauteur moyenne de plants (34,94 cm) le meilleur rendement avec 28,3 t/ha. Par rapport au rendement, l'analyse de variance des données n'a montré aucune différence statistiquement significative entre les différents traitements. La densité de plantation apparaît en effet comme un bon moyen pour ajuster la qualité du rendement de la betterave potagère.

Mots-clés : Betterave, Densité de semis, Detroit Short Top, Katibougou.

ABSTRACT: The red beetroot, *Beta vulgaris* is a vegetable grown for its root eaten in salads, raw or cooked. However, there is currently no investment in cultivation in Mali and production techniques are still poorly mastered. Thus, in order to contribute to the improvement of this crop productivity in Mali, the study of the influence of the sowing density of vegetable beet on production was carried out in the cool dry season at a Katibougou vegetable garden station in the country in the Sudanese zone on the 800 mm isohyet. The plant material used consists of a very productive variety of beetroot, Detroit Short Top. Fertilizer at the rate (10 t/ha) of decomposed poultry manure and 504g of cereal complex 17-17-17. A completely randomized block experimental design was adopted. Three densities (D1: 444444 plants/ha; D2: 333333 plants/ha and D3: 250,000 plants/ha) corresponding to the spacings of 15 cm, 15 × cm, 20 cm × 15 cm 20 cm and 20 cm × 20 cm respectively. Observations have concerned average crown diameter, average plant height, average number of leaves, and yield. The data collected were subjected to an analysis of variance under the GENSTAT Edition 12 software at the 5% threshold. The Newman-Keuls a test was applied for the comparison of treatment averages.

The results showed that the D3 density (20 cm × 20 cm) had the best performance in terms of average crown diameter (1.86 cm), average number of leaves 12.21 leaves, the average plant height (34.94 cm) the best yield with 28.3 t/ha. In terms of performance, the analysis of variance in the data showed no statistically significant differences between the different treatments. Planting density appears to be a good way to adjust the quality of vegetable beet yields.

Keywords: Beetroot, Seeding Density, Beetroot, Detroit Short Top, Katibougou.

INTRODUCTION

La betterave potagère (*Beta vulgaris*) de la famille des Chénopodiacées, *Beta vulgaris* est un légume racine allongé (crapaudine) ou rond (ronde de Détroit), rouge ('noire d'Égypte'), rose ('de

Chioggia'), jaune ('Burpee's Golden') ou blanc ('Albina Vereduna') [1]. La plante est connue pour ses usages culinaire, médicinal et cosmétique [2]. Très nutritives, les betteraves rouges sont riches en fibres, en vitamine A, B et C ainsi qu'en potassium,

magnésium et fer, elle a des propriétés anticancérigènes [3]. Sa production peut contribuer à améliorer le régime alimentaire des ménages mais également de réduire le phénomène de malnutrition des jeunes enfants et de leurs mères. En outre, les revenus issus de cette activité garantissent une accessibilité économique et une plus-value pour les producteurs. Les feuilles sont comestibles et extrêmement nutritives et très riches en vitamines. La France avec 32.000 t est le 4^{ème} producteur européen de betterave potagère, après la Pologne, l'Allemagne et la Lituanie [4]. Au Mali, la production de la betterave tout type confondu est très faible, mais de plus en plus de maraîchers s'intéressent à ce légume qui connaît actuellement un regain d'intérêt de la part des consommateurs, d'où le fait que l'on ne dispose quasiment pas de chiffres quant à la production nationale. Mais force est de reconnaître que les techniques culturales de ce légume ne sont pas entièrement maîtrisées par les producteurs.

C'est dans ce contexte que nous avons mené cette étude intitulée « Etude de l'influence de la densité de semis sur le comportement de la betterave potagère (*Beta vulgaris*) dans les conditions de Katibougou » afin de contribuer à l'amélioration des connaissances relatives aux techniques culturales et de la productivité de la betterave potagère (*Beta vulgaris*) en zone soudanienne du Mali.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Matériels

2.1.1 Site d'implantation de l'essai

L'essai a été implanté en station en plein champ au potager de l'IPR/IFRA de Katibougou. Le climat de Katibougou est de type soudanien, situé à une isohyète de 700 à 900 mm/an, caractérisé par une longue saison sèche (7 à 8 mois) d'Octobre à Mai et d'une saison pluvieuse de 4 à 5 mois (Juin-Octobre). Le sol qui a reçu l'essai est un sol ferrugineux tropical hydromorphe à fort battement de nappes [5].

2.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de semence de la variété Detroit Short Top2 de Betterave potagère traitée avec le thirame. C'est une variété précoce qui produit des racines de taille moyenne et uniforme. Sa chair tendre de couleur rouge foncé est lisse et riche en jus. Sucrée et savoureuse elle se conserve très bien et est tolérante au mildiou. Elle est populaire en Afrique subsaharienne, et parfaitement adaptée aux conditions environnementales de cette région avec des semis de mi-novembre à fin décembre.

2.1.3 Intrants

Pour l'apport d'éléments nutritifs à l'essai, les engrangements suivants ont été utilisés :

- **Le complexe-céréale (17 – 17 – 17)**

C'est un engrangement ternaire composé de 17% d'azote, de 17% de P₂O₅, et de 17% de K₂O, il est moins soluble que l'urée et a été appliquée comme fumure de fond avant l'installation de la culture en raison de 504g/ planche soit 400 kg/ha.

- **Engrangement organique**

C'est la fiente de volailles qui a été appliquée comme fumure de fond avant l'installation de la culture en raison de 12,60 kg par planche soit 10 t/ha.

- **Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fisher avec 3 répétitions. Les unités expérimentales (planches) ont des dimensions de 9m de longueur et 1,40m de largeur, donnant une superficie de 12,6m². Elles sont séparées les unes des autres par une bordure ou passe-pied de 0,40m de largeur. Les dimensions de la parcelle d'essai sont 15,8m de longueur et 9m de largeur, soit une superficie de 142,2m². Un seul facteur fait l'objet d'étude, à savoir la densité de semis prise à 3 niveaux de variations correspondant à trois densités de semis avec les écartements respectifs de 15cm x 15 cm ; 20 cm x 15cm et 20cm x 20cm.

2.2. Méthodes

2.2.1. Conduite de l'essai

Nous avons commencé la préparation de la parcelle expérimentale par les opérations ci-après :

- **Délimitation**

La délimitation de la parcelle par la méthode 3-4-5, conformément au théorème de Pythagore.

La méthode a consisté d'abord à délimiter la parcelle entière, puis à l'intérieur de celle-ci, il a été procédé à la délimitation des blocs et des parcelles élémentaires.

- **Préparation du sol**

Après le nettoyage de la parcelle, les planches ont été délimitées, creusées en laissant des allées de 0,40 m entre les planches comme bordures. Ensuite, on a procédé à l'épandage de la fumure de fond qui était de la fiente de volaille décomposée (12,60 kg) et 504g de complexe céréale 17-17-17 par planche. Les planches ont été piochées, nivelées et arrosées.

- **Semis**

L'affectation des traitements aux unités expérimentales a été faite par un tirage au sort sans remise pour chaque bloc. Le semis a été effectué le 28/10/2022 manuellement en poquets simples matérialisés à l'aide d'un rayonneur. Les écartements étaient de 15cm x 15cm ; 20cm x 20cm et 20cm x 15cm avec 1cm de profondeur de semis en raison de 2-3 graines par poquet.

- **Entretiens de l'essai**

L'arrosage de la parcelle se faisait à l'arrosoir jusqu'à la germination des graines et l'irrigation par gravité a pris la relève quand les plants sont devenus assez vigoureux. Elle se faisait tous les 3 ou 4 jours. Le démariage a été fait à raison de 1 plant/poquet et le repiquage le 14/11/2022 et 15/11/2022 pour remplacer les poquets manquants.

Trois (3) binages ont été réalisés : le 07/11/2022, 22/11/2022 et le 08/12/2022. On les faisait avec des binettes assez profondément afin de dessoucher les rhizomes des *Cyperus rotundus* qui sont les plus fréquents et difficile à combattre. L'apport de complexe céréale à raison de 252g/12,60m² et 126g d'urée /12,60m² a été effectué le 22/11/2022.

La récolte a consisté à déterrer les plants traitement par traitement. On a matérialisé deux carrés de rendement par traitement. Cette opération est faite en mesurant 1m² deux fois dans chaque parcelle élémentaire et à y enlever les racines cela au 80^{ème} JAS (jour après semis).

2.2.2 Observations phénologiques et mesures biométriques

Les mesures biométriques ont concerné le diamètre au collet, la hauteur des plants et le comptage du nombre de feuilles sur trente plants des lignes centrales choisis au hasard dans la parcelle élémentaire. Ces opérations ont été faites tous les quinze jours, mais la première a été faite le 30^{ème} jour après le semis et aux 45^{ème}, 60^{ème}, et 75^{ème} JAS soit quatre passages au total.

- **Diamètre moyen au collet des plants**

Les mesures ont été effectuées sur trente plants repérés au hasard sur les lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Un pied à coulisse a permis de déterminer le diamètre au collet des plants sur la tige principale de chaque plant d'observation.

- **Hauteur moyenne des plants**

Elle a consisté à faire des mesures sur les trente plants d'observation de chaque traitement à l'aide d'un mètre ruban gradué en centimètres (cm).

- **Nombre de feuilles**

Le nombre de feuilles des plants a été déterminé par simple comptage numérique de celles-ci.

- **Détermination du rendement**

Elle a consisté à récolter les racines des plants, traitement par traitement. Cette opération s'est faite en mesurant 1m² deux fois dans chaque parcelle élémentaire et à y enlever les racines et cela au 80^{ème} jour après semis (JAS).



Figure 1 : Mesure du diamètre au collet des plants



Figure 2 : Vue de la mesure de la hauteur des plants



Figure 3: Vue d'ensemble des feuilles par plant

Les rendements de différents traitements ont été ensuite déterminés à partir du rendement moyen de 1m² de chaque traitement extrapolé à l'hectare.

- **Analyses statistiques**

Les analyses de variances des données ont été faites à l'aide du logiciel GenStat 12th édition, avec application du test de Newman et Keuls au seuil de signification 5% pour la comparaison des moyennes des traitements.

RÉSULTATS

3.1 Effets des traitements sur le diamètre moyen au collet des plants

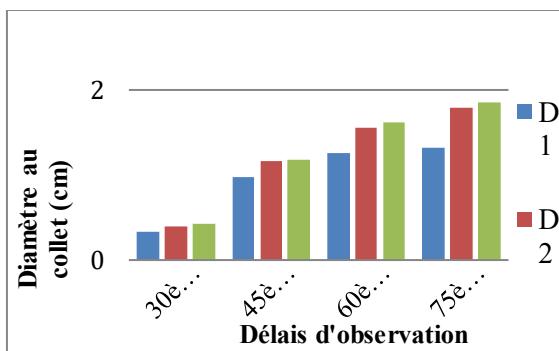


Figure 4 : Diamètre moyen au collet des plants

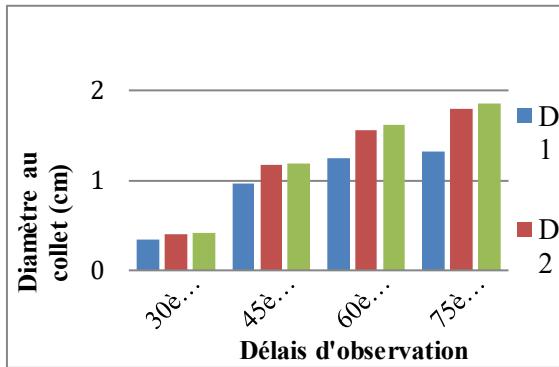


Figure 5 : Hauteur moyenne des plants

L'analyse de variance des données montre que dans les conditions d'implantation de l'essai, qu'il y a une différence significative entre les traitements aux 45^{ème}, 60^{ème}, 75^{ème} jours après semis (Fig.4). La densité D3 (20 cm x 20 cm) a enregistré le plus gros diamètre au collet avec une moyenne respective de 1,18 ; 1,62 ; 1,86cm et le plus faible diamètre au collet a été enregistré chez la densité D1 avec une moyenne de 0,97 ; 1,25 ; 1,32cm.

L'analyse de variance n'a montré aucune différence significative entre les traitements au 30^{ème} JAS mais arithmétiquement la densité D3 est toujours en première position suivie de D2 et la plus faible moyenne a été enregistré chez la densité D1 avec 0,34cm. Au 45^{ème}, 60^{ème} au 75^{ème} JAS, la densité D3 vient toujours en première place suivie de D2 et D1 vient en dernière position. Nous avons eu le plus gros diamètre moyen au collet lors de la quatrième mesure avec 1,86 cm pour D3 (20cm x 20cm) ; 1,79cm pour D2 (20 cm x 15 cm) et 1,32 cm pour D1 (15cm x 15 cm).

3.2 Effets des traitements sur la hauteur moyenne des plants (cm)

Les mesures de la hauteur des plants se faisaient à l'aide d'un mètre ruban graduée en centimètres.

L'analyse de variance des données ne montre aucune différence significative entre les traitements en ce qui concerne la hauteur moyenne des plants aux 30^{ème} et 60^{ème} jours après semis (Figure 5). Par contre aux 45^{ème} et 75^{ème} JAS il y a une différence significative entre les traitements avec deux groupes homogènes. Le deuxième groupe, constitué par la

densité D3 (20cm x 20cm) et D2 (20cm x 15cm) sont statistiquement égales au 60^{ème} JAS. Nous constatons lors de la deuxième mesure la densité D3 est arithmétiquement en tête avec une moyenne de 10,30cm, puis suit D2 avec 10,21cm et D1 vient en dernière position avec 9,15cm. Au 60^{ème} et 75^{ème} JAS, la densité D2 est toujours en première position avec des moyennes respectives de 10,30cm ; 10,21cm puis suivie de D3 avec 10,20cm ; 10,14cm, et D1 vient dernière position avec 9,15cm ; 9,06cm.

3.3 Effets des traitements sur le nombre de feuilles moyen des plants

Le nombre de feuilles a été déterminé par simple comptage de celles-ci. L'analyse de variance des données ne montre aucune différence significative entre les traitements en ce qui concerne le nombre moyen des feuilles aux 30^{ème}, 45^{ème} et 75^{ème} après semis (Figure 6). Par contre au 60^{ème} JAS, une différence significative entre les traitements est observée. Elle a décelé deux groupes homogènes : Le premier groupe, constitué par la densité D3 (20 cm x 20 cm) avec la plus grande moyenne (10,30 cm), a été statistiquement supérieur aux densités D2 (20 cm x 15 cm) et D1 (15 cm x 15 cm) avec respectivement des plants de 10,14 cm et 9,15 cm de la hauteur, qui constituent le deuxième groupe homogène. Nous constatons qu'au 60^{ème} et 75^{ème} JAS, la densité D3 (20 cm x 20 cm) est toujours en première position avec une moyenne respective de 10,30cm ; 10,21cm puis suit la densité D2 (20 cm x 15 cm) avec 10,14cm ; 10,17cm et D1 (15 cm x 15 cm) vient en dernière position avec une moyenne de 9,15cm et 9,06cm.

1.4 Effets des traitements sur le rendement moyen (t/ha)

L'analyse statistique des données montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements. Ce qui nous amène à dire que tous les traitements sont statistiquement égaux. Néanmoins, nous voyons une différence arithmétique entre les valeurs des rendements au niveau des différents traitements avec la plus grande valeur enregistrée au niveau du traitement D3 28,3t/ha.

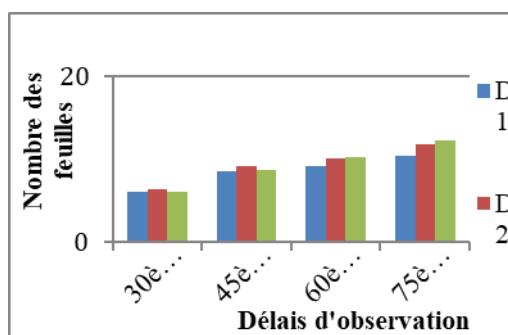


Figure 5 : Nombre des feuilles par plants

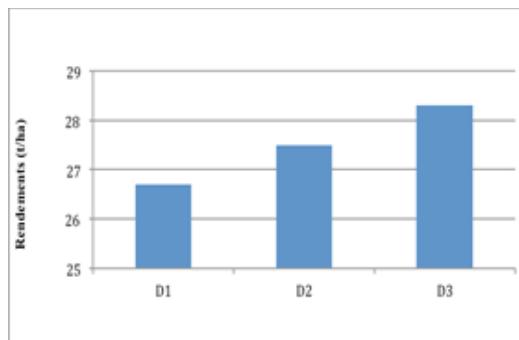


Figure 6 : Rendement en t/ha

DISCUSSION

1.5 Impact des traitements sur la croissance et le développement des plants

L'analyse des variances n'a montré aucune différence significative entre les différentes densités de semis 30ème JAS en ce qui concerne le diamètre au collet ; hauteur des plants et nombre de feuilles. Par contre au 45ème et 75ème JAS l'analyse de variance des données a montré une différence significative entre les différentes densités de semis en ce qui concerne le diamètre au collet et la hauteur moyenne des plants. Plus la densité est grande, plus la surface foliaire se développe et plus le plant a un gros diamètre.

Des études ont été réalisées en 2019 et 2020 dans les mêmes conditions de Katibougou respectivement par les auteurs [6] Sangaré ; [7] TRAORE et [8] Ongoiba sur la même thématique. Les résultats de ces études ne confirment pas nos résultats, que ce soit au niveau de la hauteur des plants, du diamètre au collet et même le nombre de feuilles. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les densités utilisées par ces auteurs diffèrent de celles utilisées dans notre essai.

1.6 Impact des traitements sur le rendement

L'analyse de variance n'a montré aucune différence significative entre les traitements au niveau du rendement racine de la betterave potagère. Bien que D3 a offert le plus grand rendement avec 28,3t/ha. Nos résultats sont semblables à ceux de Ongoiba [8] avec la densité D3 (20cm x 15 cm) qui a enregistré le plus grand rendement avec 29,38t/ha suivie de la densité D2 (20cm x 20cm) et D1 (30cm x 15cm) avec respectivement 28,12t/ha et 25,62t/ha.

CONCLUSION

Au terme de ces travaux, on peut conclure que l'influence de la densité de semis a été faible sur les paramètres agronomiques et le rendement de la culture. Les différentes valeurs moyennes du diamètre au collet, de la hauteur, le nombre des feuilles par plants et du rendement n'ont pas eu de différences signification entre les différents traitements avec des probabilité $p > 0,05$. Cependant, le plus grand rendement a été obtenu avec la densité D3 (20 cm x 20 cm) avec 28,3 t/ha.

Des études sur l'effet des niveaux de fertilisation et de la densité de semis sur la betterave doivent être conduites pour déterminer les meilleurs modes de production de la betterave dans les conditions climatiques de Katibougou.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] C. Isabelle, "Betterave : semis, culture et récolte". 2022, Consulté le 24 février 2024 <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/betterave-semis-culture-recolte.php>
- [2] H. Ben Haj Koubaiyer, M. M. Chaabouni, & N. Bouzouita, "Caractérisation Chimique des Extraits Aqueux des Racines et des Tiges de la Betterave Rouge et Etude de leur 17. 17. 17. Activités Antioxydantes". In International symposium on Medicinal and Aromatic Plants-SIPAM 2012 99, 2012, pp. 97-102.
- [3] L. Nowacki, "Étude des effets antiprolifératifs de la bétanine extraite de betterave sur cellules cancéreuses humaines et de son mode d'action au niveau des membranes cellulaires", Doctoral dissertation, Compiègne, 2014.
- [4] Eurostat, "Département de recherche et de la statistique De la campagne agricole 2017/2018", 2017.
- [5] Hofhelder, "Reconstitution de la carte pédologique de l'IPR de Katibougou", 1978, pp.71.
- [6] Sangare, "Etude de l'influence de la densité de semis sur le comportement de la betterave potagère (*Beta vulgaris*) dans les conditions climatiques de Katibougou", mémoire de fin de cycle IPR/IFRA, 2019.
- [7] I. Traoré. Étude de l'influence de la densité de semis sur le comportement de la betterave potagère (*Beta vulgaris*) dans les conditions climatiques de Katibougou", Mémoire de fin cycle, IPR/IFRA, 2020, pp.30.
- [8] H. Ongoiba, "Etude de l'influence de la densité de semis sur le comportement de la betterave potagère (*Beta vulgaris*) dans les conditions climatiques de Katibougou", mémoire de fin de cycle. 2022, pp.17.

Effets des Techniques de Conservation de l'Eau et des Sols sur les Rendements du Mil (*Pennisetum Glaucum*) dans la Zone Sahélienne du Mali (cas des Villages de Tongo et N'gakoro dans la Commune Rurale de Cinzana)

Korko KODIO^{1*}, Urbain DEMBELE¹, Antoinette AKPLOGAN¹, Kalifa TRAORE², Aboubakar BENGALY³

⁽¹⁾ Institut d'Economie Rurale (IER), Programme Systèmes de Production et Gestion des Ressources Naturelles (PSPGRN), Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, BP : 262, Bamako, Mali

⁽²⁾ Institut d'Economie Rurale (IER), Direction Scientifique, Rue Mohamed V, Bamako, Mali

⁽³⁾ Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou, Koulikoro, Mali

* Auteur correspondant : kodiokorko@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Le Mali à l'instar des pays sahéliens est confronté à diverses contraintes dont celles du climat. Cette situation est préjudiciable à la production du mil, la principale culture vivrière de la zone généralement cultivée sur des sols pauvres en nutriments et bénéficiant de peu de restitution minérale ou organo-minérale. L'objectif de cette étude était de tester diverses technologies de conservation des eaux sur la production du mil. Des essais portant sur les techniques de grattage croisé (GCr) et de la diguette de ceinture (DC) en combinaison avec l'engrais minéral (FM) et/ou organique (FO), ont été mis en place chez 14 agriculteurs, chacun représentant une répétition dans les villages de Tongo et N'gakoro dans la commune rurale de Cinzana. Le dispositif formait un bloc de Fisher complet, randomisé, dispersé comportant 7 traitements. Les données ont été analysées à l'aide du logiciel STATGRAPHICS, version 16.1.11. Le grattage croisé et la diguette de ceinture associés à la fumure organo-minérale ont montré des rendements statistiquement plus élevés. Le grattage croisé + FO + FM a donné le meilleur rendement moyen en pailles (7325 kg.ha⁻¹) et en grains (2505 kg.ha⁻¹). Cette technologie a obtenu le meilleur bénéfice de la production (229 675 CFA) suivie de celle de la diguette de ceinture associée à la fumure organo-minérale (204 050 CFA) contre 129 675 CFA pour le témoin. Les techniques de grattage croisé et de la diguette de ceinture ont entraîné une augmentation du rendement grain et paille du mil par rapport au traitement témoin. Cependant, le grattage croisé est la meilleure technique de conservation des eaux car a obtenu les meilleurs rendements grain et pailles. En perspective, cette étude pourrait être étendue sur d'autres cultures pour percevoir l'effet des techniques de conservation des eaux sur la productivité de ces cultures.

Mots-clés : Conservation des eaux et du sol, grattage croisé, diguette de ceinture, microdose minérale, *Pennisetum glaucum*

ABSTRACT: Like other Sahelian countries, Mali is faced with various constraints, including climate. This situation is detrimental to the production of millet, the main food crop in the area, which is generally grown on nutrient-poor soils with little mineral or organo-mineral restitution. The aim of this study was to test various water conservation technologies on millet production. Trials were set up with 14 farmers, each representing a replication in the villages of Tongo and N'gakoro in the rural commune of Cinzana, using the techniques of cross-scraping (GCr) and belt bunding (DC) in combination with mineral fertiliser (FM) and/or organic fertiliser (FO). The system formed a complete, randomised, dispersed Fisher block with 7 treatments. The data were analysed using STATGRAPHICS software, version 16.1.11. Cross scraping and belt digging combined with organo-mineral fertiliser showed statistically higher yields. Cross-scraping + FO + FM gave the highest average straw yield (7325 kg.ha⁻¹) and grain yield (2505 kg.ha⁻¹). This technology obtained the highest production benefit (229,675 CFA), followed by the belt bond combined with organo-mineral fertiliser (204,050 CFA) compared with 129,675 CFA for the control. The cross-scraping and belt digging techniques increased millet grain and straw yields compared with the control treatment. However, cross-scraping was the best water conservation technique, as it gave the best grain and straw yields. This study could be extended to other crops to determine the effect of water conservation techniques on crop productivity.

Key words: Water and soil conservation, cross scraping, belt bund, mineral microdose, *Pennisetum glaucum*

INTRODUCTION

Le Mali à l'instar des pays sahéliens est confronté à plusieurs contraintes dont celle du climat, alors que

l'agriculture pluviale occupe 75 % de la production (CSA, 2011). Le secteur agricole contribue à 46 % au produit intérieur brut (PIB) et occupe 80 % de la

population active (MAS, 2013). Les céréales représentent 72 % des superficies cultivées au Mali (FAO, 2013)

Le mil a été l'une des premières plantes domestiquées, constituant une culture de base traditionnelle pour des millions d'agriculteurs, en Afrique subsaharienne et en Asie. FAO, 2018

L'augmentation de sa production est largement due à l'accroissement des superficies cultivées plutôt qu'à l'amélioration des rendements, qui ont stagné autour de 800 kg.ha⁻¹ de 2005 à 2010 (COULIBALY A, 2012). Les contraintes de production du mil en général sont abiotiques, biotiques et socio-économiques (TRAORE et al., 2003) et en particulier les contraintes abiotiques concernent la pauvreté des sols en éléments fertilisants (N et P), une faible teneur en matière organique, une acidité prononcée et une faible capacité d'échange cationique et aussi bien la disponibilité en eau est cruciale. En effet, le ruissellement des eaux de pluies est important et impacte négativement sur les cultures puisque l'eau agit directement sur les plantes (TRAORE et al., 2003). De ce fait, le développement des techniques de conservation de l'eau et des sols avec l'utilisation efficiente de fumures organique et minérale pourrait permettre de réduire les contraintes et d'augmenter durablement la productivité. Au Mali et ailleurs, plusieurs techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol existantes ont été améliorées et mises en œuvre ; elles incluent les Zaï, les cordons pierreux, les aménagements en courbe de niveaux, etc.

Toutes ces techniques s'appliquent aux conditions réelles du milieu. Ainsi, des aménagements par les diguettes en terre ont été testés au Mali (TRAORE et al., 2012;) et au Burkina Faso (CILSS, 2012).

Le grattage croisé (GCr) et la diguette de ceinture (DC) semblent être les mieux indiqués pour la zone de notre étude au Mali. C'est dans cette optique que cette étude intitulée. « Effets des techniques de conservation de l'eau et des sols sur les rendements du mil (*Pennisetum glaucum*) dans la zone sahélienne du Mali (cas de Tongo et N'gakoro» a été initiée. Elle a porté sur les hypothèses suivantes : (i) les techniques de diguette de ceinture et de grattage croisé augmentent l'humidité dans le sol ; (ii) la conservation des eaux améliore l'effet du compost et le rendement des cultures ; (iii) les techniques de diguette de ceinture et de grattage croisé sont économiquement rentables.

L'objectif général de l'étude est de contribuer à l'amélioration de la productivité agricole par la mise au point d'options de conservation des eaux et du sol en agriculture pluviale. Les objectifs spécifiques sont : (i) déterminer les effets de diguette de ceinture et de grattage croisé sur l'évolution de l'humidité du sol ; (ii) déterminer les effets du compost et du

microdosage d'engrais minéral sur les rendements du mil à N'gakoro et Tongo ; (iii) identifier le meilleur coût de production des différentes technologies testées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

Les essais ont été conduits dans le village de Tongo et de N'gakoro situé à 22 km et 15 km respectivement de la commune rurale de Cinzana Gara (Région de Ségou). Tongo est localisé à 13°21'8.7" de latitude Nord de 5°49'0.8" de longitude Ouest et d'altitude de 279m. N'gakoro est localisé à 13°20'28.05" de latitude Nord de 5°51'24.58" de longitude Ouest et d'altitude de 281m (Kalifa. TRAORE, 2016).

Le climat de Tongo et de N'gakoro est de type sahélien et l'isohyète se situe à 600 mm. Il est caractérisé par une longue saison sèche allant d'octobre à fin juin (8 à 9 mois) et une saison pluvieuse de fin juin à fin septembre (4 - 3 mois). La pluviométrie annuelle est faible au début et atteint son maximum en août, avec un cumul annuel oscillant entre 600 mm et 400 mm (La saison sèche est subdivisée en deux périodes : Une période chaude, de mars à mai, dont la température moyenne varie entre 40°C et 47°C ; Une période fraîche qui s'étend sur 4 mois (novembre à février) au cours de laquelle la température moyenne varie entre 15°C en décembre et 35°C en février (CRRA Cinzana, 2016).

L'évapotranspiration varie annuellement de 2500 à 2750 mm (DEMBELE, 2013). Les vents dominants sont :

- En saison sèche, le harmattan, vent chaud et sec, soufflant du nord au sud-ouest, est le vent dominant pendant cette saison.
- Une saison pluvieuse la mousson, vent frais et humide, soufflant de l'Est-Ouest
- CRRA Cinzana, 2016 ; Agro- climatologie, 2014).

Végétation

La végétation est caractérisée par une savane dégradée et faiblement arborée. Cette formation est accompagnée par un mélange de graminées annuelles, d'espèces ligneuses appartenant à diverses familles.

Sols

Les essais ont été implantés sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés à texture sablo-limoneuse. Suite à une prospection pédologique des sols des villages d'étude, il est ressorti 5 horizons dans le profil pédologique. La texture des horizons en surface est saleuse tandis que les horizons en profondeur sont sablo-limoneux. Dans le profil, les agrégats se forment en fonction de la profondeur. Les caractéristiques physico-chimiques de ces sols sont

données dans le tableau I.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Tongo et N'gakoro

Variables	Tongo	N'gakoro
%S	78	82
%L	15	11
%A	7	7
CT	SL	SL
pH eau	6,24	6,14
%C	0,3	0,19
%N	0,01	0,01
P ass	4,36	4,16
CEC	1,74	1,7
Ca meq/100	0,15	0,14
Mg meq/100	0,06	0,05
Kmeq/100	0,01	0,01

CT=Classe texturale, SL=sablo-limoneux

Tableau 2 : Résultats d'analyse des composts de Tongo et de N'gakoro

Villages	%N	%P ₂ O ₅	%K ₂ O	%C	%MO	C/N
Tongo	0,41	2,051	0,60	3,71	6,39	8,88
N'gakoro	0,36	1,98	0,51	3,39	5,81	12,11

Fumure organique

La fumure organique utilisée est le compost composé des déjections d'animaux (bovin, ovin, caprin et de résidus de récoltes). Toutefois, l'analyse des composts a été faite pour déterminer la teneur en éléments nutritifs (Tableau II).

Fumure minérale

Le complexe céréale (17-1-17-4s) et l'urée (CO(NH₂)₂) ont été utilisés en microdose, en raison de 2 g/poquet et 1 g/poquet respectivement.

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est la variété de mil TORONIOU C1 ; elle provient de la recombinaison des meilleures S1 de la population Toroniou collectée à Ningari (CMM 156), falaise de Bandiagara Le choix de Toroniou repose à la fois sur sa popularité dans les villages aux alentours de la SRAC et sa productivité. Selon les paysans, Toroniou fait l'unanimité pour sa productivité. Des rendements en milieu paysan atteignant 2t.ha⁻¹ ont été enregistrés dans le village de Kondogola à environ 10 km de la Station de Recherche Agronomique de Cinzana (TRAORE et OUEDRAGO, 2010).

Expérimentations au champ

Le dispositif expérimental utilisé est le bloc de Fischer complet, randomisé et dispersée chez 14 producteurs dont 7 par village (Tongo et N'gakoro). Chaque producteur constitue un bloc. Le facteur étudié est la technologie à 6 niveaux de variation et un témoin absolu.

Les parcelles élémentaires ont été affectées par les traitements suivants :

T0 = Témoin absolu

T1 = DC + 10 t/ha compost

T2 = DC + 2 g/poquet NPK + 1 g/poquet Urée

T3 = DC + 10 t/ha compost + 2 g/poquet NPK + 1 g/poquet Urée

T4 = GCr + 10 t/ha compost

T5 = GCr + 2 g/poquet NPK + 1 g/poquet Urée

T6 = GCr + 10 t/ha compost + 2 g/poquet NPK + 1 g/poquet Urée

Après la délimitation des essais, les parcelles élémentaires ont été délimitées d'une superficie de 10 m x 10 m, soit 100 m². Les apports de 100 kg/m² de compost ont été faits dans les traitements concernés (Figure 1) ; ensuite l'opération du grattage croisé (GCr), comme son nom l'indique « gratté aux deux sens de la parcelle avec la charrue à dents canadiennes » a été faite (Figure 2). Quant à la technique diguette de ceinture (DC), elle a été effectuée pendant la période de mi à la fin Août (Figure 3). Cette technique est pratiquée surtout quand les plants ont atteint une certaine phase de croissance, pour éviter la pourriture des jeunes plants sous l'effet de l'eau ; l'opération de la diguette de ceinture a consisté de faire les gros billons au contour de la parcelle. Un billonnage simple a été fait à tous les traitements justes avant le semis.



Figure 1 : Apport de compost



Figure 2 : Grattage Croisé (GCr)



Figure 3 : Diguette de ceinture (DC)

Les mesures et observations ont porté sur : 1) les mesures de l'humidité, 2) la vigueur à la levée, 3) la hauteur des plants, 4) le nombre de talles/poquet, 5) le nombre de jours 50 % de floraison, 6) le rendement grains, 7) le rendement paille. Les données ont été arrangées avec le tableur Microsoft Excel et ensuite analysées à l'aide du logiciel STATGRAPHICS (Version 16.1.11). La ppds au seuil de 5 % a été utilisée pour la comparaison des moyennes.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Evolution de l'humidité pondérale à 20 cm de profondeur du sol le long de la saison de pluie

Dans la Figure 4, l'humidité pondérale a augmenté légèrement avec la pratique GCr + 10 t/ha de compost ; ceci s'explique par le fait que la matière organique a gardé l'humidité même si la couche superficielle du sol a été travaillée. L'apport de matières organiques aux champs a trois effets majeurs : la restauration de l'activité biologique, l'amélioration de la fertilité par l'apport d'éléments nutritifs et une meilleure structure du sol grâce à l'augmentation de la matière organique. La meilleure

structure du sol favorise l'infiltration de l'eau. Ces effets facilitent la croissance des cultures et augmentent les rendements (giz ,2015). Juste après mi-août, l'humidité a diminué ; cela est dû à l'infiltration de l'eau dans les couches profondes du sol. Cependant, avec la pratique de diguette de ceinture l'humidité augmente légèrement d'autant plus avec la construction des diguettes car cette pratique permet de stocker l'eau en surface du sol.

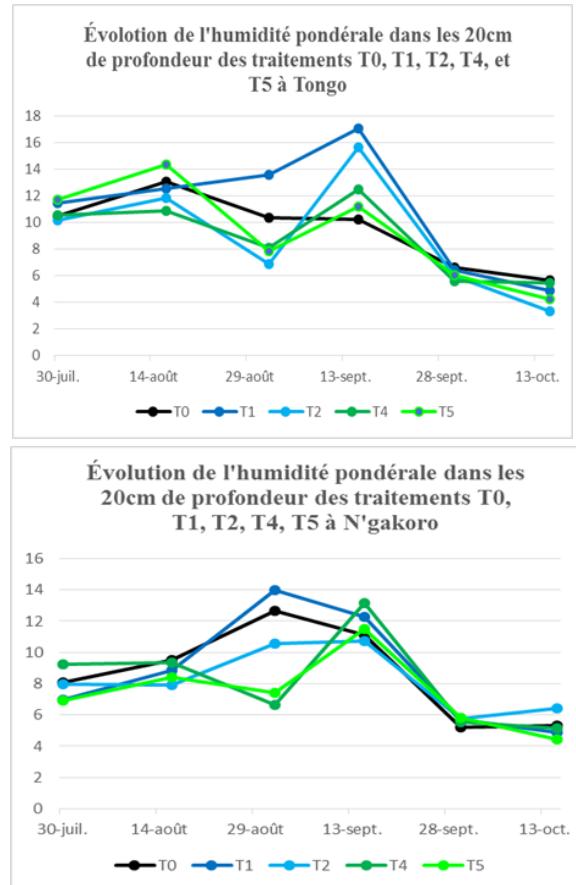


Figure 4 : Évolution de l'humidité pondérale des traitements à Tongo et à N'gakoro

Le grattage est une technique qui permet d'ameublir la couche superficielle du sol; en plus croisé cela conditionne plus l'ameublement des couches superficielles, la matière organique est rependue de manière plus homogène. Nous déduisons que la pratique de GCr favorise l'infiltration de l'eau dans le sol tandis que la DC favorise le stockage de l'eau en surface du sol quel que soit l'application de la fumure organique ou minérale.

Effet des traitements sur les paramètres de la croissance et développement du mil

Effet des traitements sur le tallage des plants

La comparaison des moyennes (Figure 5) montre qu'il y a une différence significative ($p=0.05$) entre les traitements au seuil de 5 %. Le nombre de talles varie de 6 à 8 pour Tongo et de 5 à 8 pour N'gakoro. Ces résultats sont similaires à ceux de Moustapha (2010) sur les techniques CES au Niger, qui a obtenu 7 talles/poquet.

Effets des traitements sur la hauteur du mil

L'analyse de la variance montre une différence hautement significative entre les traitements. ($p=0,002$ pour Tongo et $0,0009$ pour N'gakoro) au seuil de probabilité de 5%. La comparaison des moyennes montre que les parcelles ayant reçu du compost ne diffèrent pas statistiquement entre elles. Le grattage croisé associant le compost et l'engrais minéral montre statistiquement plus élevé que les traitements sous diguette de ceinture.

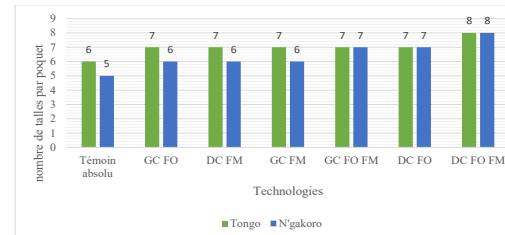


Figure 5 : Effets des traitements sur le tallage du mil à Tongo et N'gakoro

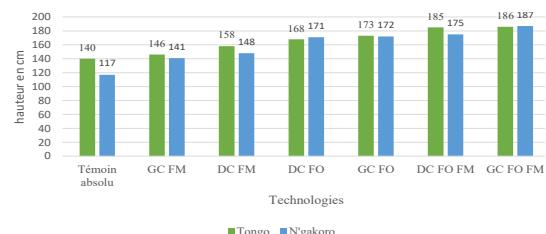


Figure 6 : Effets des traitements sur la hauteur du mil à Tongo et N'gakoro

Effets des traitements sur la vigueur des plants de mil

L'analyse statistique montre une différence significative au seuil de 0,05 pour N'gakoro et hautement significative pour Tongo (Figure 7). Les valeurs de vigueur les plus élevées ont été observées dans les parcelles ayant reçu le grattage croisé avec la fertilisation organo-minérale.

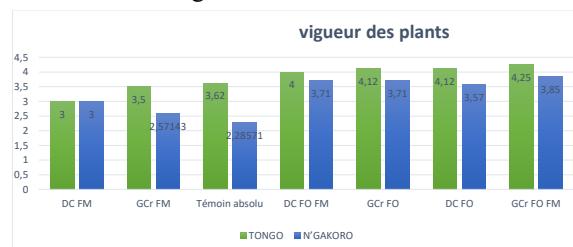


Figure 7 : Effets des traitements sur la vigueur des plants de mil à Tongo et N'gakoro

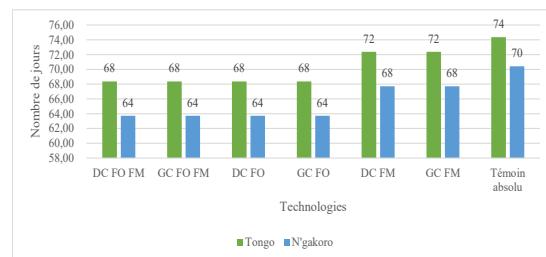


Figure 8 : Effets des traitements sur le délai 50 % de floraison du mil à Tongo et N'gakoro

Effets des traitements sur le délai 50 % de floraison du mil

Le nombre de jours 50 % de floraison (JAS) varie de 68 à 74 jours pour Tongo et 64 à 71 jours pour N'gakoro (Figure 8). L'analyse de la variance a montré qu'il y'a une différence hautement significative pour N'gakoro et significative pour Tongo, entre les traitements. Il ressort que les parcelles ayant reçu du compost seul ou en combinaison avec l'engrais minéral ont eu le nombre de jours semis-50 % floraison le plus réduit. Cette réduction est de 9 % à Tongo et 11 % à N'gakoro et cela représente globalement une différence d'une semaine par rapport au témoin.

Effets des traitements sur le rendement en grains du mil

Les rendements moyens en grains varient de 926 à 1851 kg ha⁻¹ à N'gakoro et de 1413 à 2505 kg ha⁻¹ à Tongo. Le grattage croisé et la diguette de ceinture associés à la fumure organo-minérale montrent des rendements statistiquement plus élevés (Figure 9) que les traitements soumis à la diguette de ceinture avec fertilisation minérale et le témoin à N'gakoro et Tongo. En moyenne, cette supériorité est de +59 % et +52 % respectivement à Tongo et N'gakoro. Ces valeurs sont supérieures à ceux rapportés par Nicou (1987) qui avait mentionné des rendements moyens de 530 kg ha⁻¹ avec une pluviométrie de 525 mm. Dans la zone mali-sud, Coulibaly (2012) a mentionné des rendements de 1800 kg ha⁻¹ sur des parcelles ayant subi le grattage.

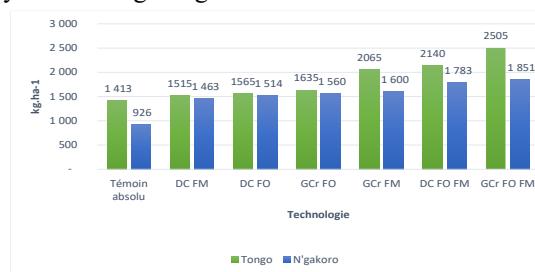


Figure 9 : Effet des traitements sur le rendement grain

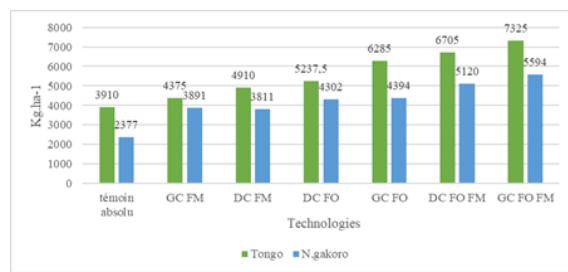


Figure 10 : Effet des Traitements sur le rendement en paille du mil à Tongo et N'gakoro

Effets des traitements sur le rendement paille

Les rendements paille varient de 3910 à 7325 kg ha⁻¹ à Tongo et de 2377 à 5594 kg ha⁻¹ à N'gakoro. L'analyse de la variance que la différence est significative pour Tongo et pour N'gakoro. Les meilleurs rendement paille ont été obtenu des

traitements sous grattage associé à la fumure organo-minérale et ne diffère pas statistiquement des autres traitements ayant reçu du compost. Toutefois il est statistiquement plus élevé que celui du témoin et cet avantage est de +87% à Tongo et plus du double à N'gakoro. Les résultats obtenus par (PALE et al. ,2021) ont montré que quel que soit le travail du sol, les parcelles ayant reçu une fertilisation organo-minérale ont eu un rendement en paille élevé par rapport aux parcelles ayant reçu les engrains minéraux seuls. L'application du compost a généralement permis un accroissement des rendements par sa lente libération des nutriments aux stades critiques de croissance des plants.

Coûts et bénéfices des meilleures technologies

La meilleure technique en termes de rendements est le grattage croisé associé à 10 t/ha de compost, microdose de NPK et de l'Urée. Les évaluations du coût et bénéfice de cette technologie sont estimés à 83 450 F CFA et 229 675 F CFA respectivement.

Tableau 3 : Coûts de production des parcelles sous GCr, DC et T0.

Intrants et Opérations	Quantité			Pu (CFA)	Montant CFA		
	GCr	DC	T0		GCr	DC	T0
Semence de mil/ha (kg)	4	4	4	400	1600	1600	1600
NPK et urée (kg)	75	75	-	220	16500	16500	-
Apron star pour mil (sachet)	1	1	1	1100	1100	1100	1100
Grattage croisé (location)/diguette de ceinture	4	2	-	5000	20000	10000	-
Hillommage témoin /GCr (location)	2	-	2	5000	10000	-	10000
Semis (pers)	5	5	5	1250	6250	6250	6250
2 Surelage (pers)	8	8	8	1250	10000	10000	10000
Récolte (pers)	6	6	6	1000	6000	6000	6000
Butage et vannage (pers)	12	12	12	1000	12000	12000	12000
Charge totale					83450	63450	46950

Tableau 4 : Bénéfices des technologies

Technologies	Rdt moyen grains (kg/ha)	Prix unitaire (F CFA)	Produit brut total (F CFA)	Charge Totale (F CFA)	Bénéfices (F CFA)
Grattage croisé + FO + FM	2 505	125	313 125	83 450	229 675
Diguette de ceinture + FO + FM	2 140	125	267 500	63 450	204 050
Témoin	1 413	125	176 625	46 950	129 675

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que les technologies associées aux différents types de fertilisation ont influencées significativement les rendements du mil dans la zone sahélienne du Mali.

L'application de ces technologies avec apport de 10 t ha⁻¹ et la microdose (NPK et Urée) a donné comme effets suivants : Le grattage croisé associé 10 t de compost + microdose minérale a donné le meilleur rendement moyen en pailles (7325 kg.ha⁻¹) et en grains (2505 kg.ha⁻¹) avec un surplus de 3975 kg.ha⁻¹ de pailles et 1093 kg.ha⁻¹ de grains par rapport au témoin à Tongo. Par contre les rendements à N'gakoro sont inférieurs à ceux de Tongo. En ce qui

concerne la hauteur des plants, la diguette de ceinture et grattage croisé sont très proches 187 cm et 186 cm à N'gakoro et Tongo respectivement. Une diminution 7 jours au nombre de jours 50 % de floraison (JAS) des plants a été faite avec les technologies associées aux apports de (10 t.ha⁻¹, microdose NPK et Urée) par rapport au témoin. La meilleure vigueur a été obtenue par la technologie « grattage croisé », mais dans l'ensemble tous les traitements ayant subi l'apport de 10 t.ha⁻¹ de compost ont eu une bonne vigueur. Malgré des poches de sécheresses, les plants ont eu un bon aspect de végétation, alors que le village de Tongo a fait moins de 600 mm de pluie en 2016. L'apport de 10 t.ha⁻¹ de compost a favorisé l'enherbement des jeunes plants ; par conséquent, les producteurs doivent bien faire leurs composts afin d'éviter la contamination et l'infestation des champs par des mauvaises herbes.

REFERENCES

- CILSS, 2012. Bonnes pratiques agro-sylvopastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso, Ouagadougou 194p.
- Coulibaly A. 2012. Introduction de la technique du placement mécanique de microdoses d'engrais et de la semence. IER/JIRCAS, 18 pages.
- CSA, 2011. Evaluation et identification des besoins de renforcement des capacités des organisations paysannes des six pays de l'UEMOA et de la CEDEAO, 82 pages.
- Koulibaly.B, Dakuo. D, Ouattara, A, Traore. O, Lompo. F, Zombre N. P et Yao Kouame A. 2015: Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. 125-134 pages.
- Nicou R. 1986. Labour et aménagement du sol en vue d'accroître le rendement des cultures vivrières dans les régions semi-arides d'Afrique subsaharienne. In: Proceeding of an International Drought Symposium held at the Kenyatta Conference Centre, Nairobi, Kenya 19th to 23rd May 1986, 511 – 523 pages.
- Traore K, Gigou J, Yamada M, Samake O et Coulibaly H. 2012. Aménagement en courbes de niveau pour la conservation des sols en champ paysan. JIRAS, 16 pages.
- Traore S, Bagayoko M, Coulibaly Sirama S et Coulibaly A 2003. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua non pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil ; 25 pages.
- Troy B. 2012. Gestion de l'eau et de sécurité alimentaire : de nouveaux défis pour les pays en développement Fondation FARM, 43-63 pages.
- Zougmore R, Ouattara K, Mando A, Ouattara B. 2004. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lune) au Burkina Faso. Sécheresse 15, 41-48 pages.
- FAO 2013: L'Agriculture climato-intelligente (Climate-smart agriculture).
- FAO, 2018: Proposition relative à la célébration d'une année internationale du mil.
- Giz, 2015: bonne pratique de conservation des eaux et des sols ,57 pages.
- Siébou Pale, Albert Barro, Mahamoudou Koumbem, Aïda SERE et Hamidou Traore 2021: Effets du travail du sol et de la fertilisation organo-minérale sur les rendements du mil en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso Int. J. Biol. Chem. Sci. 15(2): 497-510 pages.

Seasonal effects on annual litterfall dynamics and nutrient deposition of *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertner in agroforestry parklands southern Mali « *Effet Saisonnière sur la Dynamique de la Litière Annuelle et le Dépôt de Nutriments de Vitellaria paradoxa C.F. Gaertner dans les Parcs Agroforestiers au Mali Sud* »

Siriki FANÉ^{1,2*}, Deogratias Kofi AGBOTUI¹, Sidi SANOGO³, Andreas BUERKERT¹

¹ Organic Plant Production and Agroecosystems Research in the Tropics and Subtropics (OPATS), University of Kassel, Steinstrasse 19, 37213 Witzenhausen, Germany

² Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou, Koulikoro, Mali

³ Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRA) de Sikasso, Institut d'Economie Rurale (IER), Mali

ABSTRACT: In the Sudano-Sahelian zones of West Africa, *Vitellaria paradoxa* dominated parklands are the most common land use systems. Aside its fruit production, this tree species also improves nutrient cycling in agroecosystems through annual litterfall. Despite their importance in the sustainability of parklands, studies assessing the seasonal influence on *V. paradoxa* litterfall quantity and quality are rare. Hence, this study sought to determine litterfall dynamics and nutrient deposition of this important agroforestry species. To this end litterfall was monitored under nine *V. paradoxa* trees using wooden litterboxes measuring 50 cm × 50 cm × 50 cm for twelve months. Average annual litterfall was 3161 kg ha⁻¹ year⁻¹ with the highest amount of litterfall (916 kg ha⁻¹) recorded in February which was 18-fold greater than in August (50 kg ha⁻¹). Litterfall in the rainy season was 75% lower than in the dry season. Contrarily, nitrogen (N) concentrations in green and senesced leaves during the rainy season were 27% and 62%, respectively, greater than those in the dry season. This is likely due to high soil N availability during the rainy season because of rapid mineralization of organic matter in the surface soil. Nitrogen resorption efficiency during the dry season was 65% greater than in the rainy season. We conclude that differences in N concentration of *V. paradoxa* across seasons and developmental stage of leaves affect organic material quality which has implications for organic matter management in parklands.

Keywords: Agroforestry systems, Nutrient cycling, Litter quality, Organic matter, Sahel.

RÉSUMÉ : Dans les zones soudano-sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest, les parcs dominés par *Vitellaria paradoxa* sont les systèmes d'utilisation des terres les plus courants. Outre la production de fruits, cette espèce d'arbre améliore également le cycle des nutriments dans les agroécosystèmes grâce à la production annuelle de la litière. Malgré leur importance pour la durabilité des parcs, les études évaluant l'influence saisonnière sur la quantité et la qualité de la litière de *V. paradoxa* sont rares. C'est pourquoi cette étude cherche à déterminer la dynamique de la production de la litière et le dépôt des nutriments de cette importante espèce agroforestière. À cette fin, la production de la litière a été suivie sous neuf pieds de *V. paradoxa* à l'aide de boxes à litière en bois mesurant 50 cm × 50 cm × 50 cm pendant douze mois. La moyenne annuelle de litière était de 3161 kg ha⁻¹ an⁻¹ avec la quantité la plus élevée de la litière (916 kg ha⁻¹) enregistrée en février qui était 18 fois plus important qu'en août (50 kg ha⁻¹). La production de litière en saison des pluies était 75 % plus faible qu'en saison sèche. En revanche, les concentrations d'azote (N) dans les feuilles vertes et sénescentes pendant la saison des pluies était respectivement de 27% et 62% supérieurs qu'à celles de la saison sèche. Ceci est probablement dû à la disponibilité élevée de l'azote dans le sol pendant la saison des pluies en raison de la minéralisation des matières organiques dans la partie superficielle du sol. L'efficacité de la résorption de l'azote pendant la saison sèche était supérieure de 65 % qu'à celle de la saison des pluies. Nous concluons que les différences de concentration en azote de *V. paradoxa* selon les saisons et le stade de développement des feuilles affectent la qualité de la matière organique, ce qui a des implications pour la gestion de la matière organique dans les parcs.

Mots-clés : Système agroforestier, cycle de nutriments, qualité de la litière, matière organique, Sahel.

INTRODUCTION

Agroforestry parklands, characterized by the integration of trees with crops and livestock, are a prevalent land use system in the Sahelian region of West Africa [1]–[4]. Among the various tree species found in these parklands, the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) holds significant ecological and economic importance [5]–[7]. Aside the provision of non-timber products such as shea nuts and fuelwood which sustain local livelihoods, *V. paradoxa* also improves soil fertility through its litterfall [6], [8]. Litterfall precedes the litter decomposition process and together with the latter govern nutrient cycling (Fig. 1). Litterfall is controlled by climate [9]–[11], soil fertility [12]–[14], age of the tree stands [15], [16], and the state of the leaves [9], [17], however, climate is considered the most important factor. Several studies in the tropics have reported seasonal variation in the amount and chemistry of litterfall. For example in cocoa agroforestry systems [18] and [11] reported higher litterfall in the dry season than

during the rainy season. Whereas foliar nitrogen (N) was higher in the rainy season, potassium was reportedly higher in the dry season [19]. The seasonal variation in foliar nutrient concentration is a response to nutrient reabsorption from senesced leaves before their fall [20]–[22]. During leaves senescence, plants absorb mobile carbohydrates and nutrients from leaves and make them available for new parts [22].

Despite the afore-mentioned importance of *V. paradoxa* in agroforestry parklands, there is limited information on its litterfall. The few studies which exist [8], [23]–[26] failed to address the seasonal influence on litterfall amount and nutrient concentrations. Our study therefore seeks to fill this knowledge gap by estimating the role of seasonality in the amount and nutrient concentration in *V. paradoxa* litterfall. Results from our study will provide valuable information on the management this species to maximize their role in improving soil fertility in agroforestry parklands in the Sahelian Region.



*Figure 1. Litterfall under *V. paradoxa* trees in an agroforestry parkland in the Sudano-Sahelian zone of Koulikoro, southern Mali.*

MATERIALS AND METHODS

Study area

Our study was conducted in 2022 in the three villages Mafèya, Fèya and Tiètiguila of the Méguétan community ($12^{\circ} 52' 27''$ N, $7^{\circ} 31' 54''$ W) in the Sudano-Sahelian zone of Mali. In this year, annual rainfall in Méguétan Municipality was 796 mm with 85% of rainfall occurring during July,

August, and September, and the temperature ranged from 19 to 40 °C. The soils at the study sites are typical Ferralsols [27]. Agriculture is essentially rainfed with cereal crops such as maize (*Zea mays* L.), millet (*Pennisetum glaucum* L.R. Br.), and sorghum (*Sorghum bicolor* L.), grown among scattered trees and shrubs grazed after harvest [28]–[31].



Figure 2: Arrangement of litterboxes under a *V. paradoxa* tree (left) and used wooden litterbox (right) in an agroforestry parkland in the Sudano-Sahelian zone of Koulikoro, southern Mali.

Data collection and laboratory analyses

Litterfall was monitored under nine *V. paradoxa* trees using wooden litterboxes measuring 50 cm × 50 cm × 50 cm (Fig. 2) for twelve months. Four litterboxes were placed under each tree per village whereby litter in the boxes was sampled every 15 days. At each sampling of senescent leaves, green mature leaves were also harvested from the trees. Subsequently, Senescent and green leaves were oven dried at 60 °C for 72 hrs, weighed, and milled for nitrogen (N) analyses using a Vario Max CN analyzer (Elementar GmbH, Hanau, Germany). To determine concentrations of phosphorous (P), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg), milled samples were ashed at 550 °C overnight, followed by analyses of the ash solution using a Spectrogreen ICP-OES (SPECTRO Analytical Instruments GmbH, Kleve, Germany).

Statistical analysis

One-way analysis of variance (ANOVA) was used to test the monthly variation in leaf fall. Collected senescent leaves and harvested green leaves were divided into those sampled during the dry season (November, December, January, February, March, April, and May) and rainy season (June, July, August, September, and October). A two-way ANOVA was used to test the interaction between seasonality and leaf type on amount and nutrient concentrations. Nutrient uptake was calculated as follows:

$$N_r(\%) = 100 \times \frac{C_g - C_s}{C_g} \quad (1)$$

Where N_r : is the specific nutrient resorption efficiency rate; C_g is the concentration of nutrient in green leaves, and C_s is the nutrients concentration in senescent leaves.

A T-test was used to compare seasonal variation in nutrient resorption. All data were verified for normal distribution of residuals using the Shapiro-Wilk test. Data not meeting the assumptions of ANOVA were transformed. Whenever the F-test indicated significant treatment effect ($p \leq 0.05$) means were separated using the Tukey post-hoc test.

RESULTS

The average annual litterfall of *V. paradoxa* was 3161 kg ha⁻¹ year⁻¹. With 916 kg ha⁻¹ litterfall was highest in February and this was 18-fold ($p < 0.01$) larger than the lowest litterfall (50 kg ha⁻¹) recorded in August (Fig. 3). Litterfall in the rainy season was 75% lower than in the dry season.

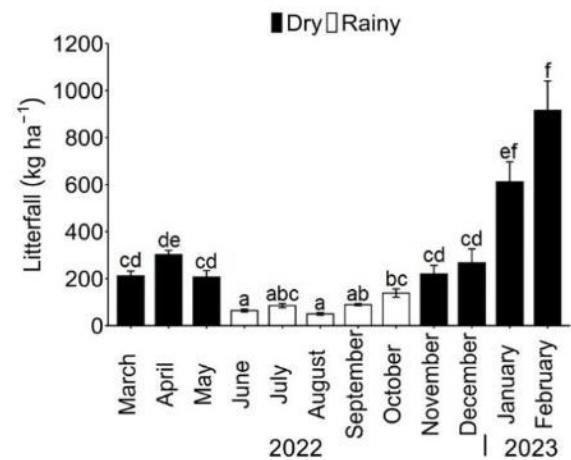


Figure 3: Monthly litterfall of *V. paradoxa* in Koulikoro (2022-2023), southern Mali. Error bars represent +/- one standard error of the mean. Months with different lower-case letters above the standard error of the mean show significant differences ($p < 0.01$). Except for N concentration, there was no significant interaction between season and leaf type

Tableau 1 : Seasonal and leaf types of nutrient concentration of *V. paradoxa* leafy biomass in agroforestry parklands of Koulikoro, southern Mali.

	P	K	Ca	Mg
	mg g ⁻¹			
	Season			
Dry	0.56 ± 0.03	10.33±0.29	13.00 ± 0.35	4.74 ± 0.10
Rainy	0.90 ± 0.06	14.21±0.50	10.61 ± 0.33	4.27 ± 0.08
p value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05
	Leaf type			
Senescent	0.66 ± 0.04	11.09 ± 0.35	12.58 ± 0.42	4.55 ± 0.12
Green	0.70 ± 0.05	12.29 ± 0.50	11.74 ± 0.35	4.60 ± 0.10
p value	0.45	<0.05	0.09	0.69
	Season × leaf type			
p value	0.50	0.43	0.41	0.42

Data show means of concentration values across seasons and leaf types ± one standard error of the mean.

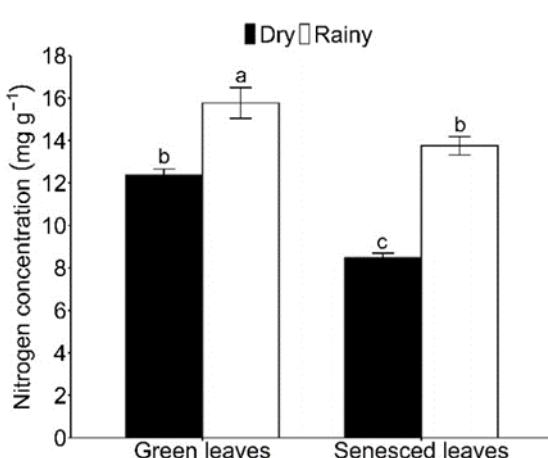


Figure 4 : Seasonal and leaf types N concentration of *V. paradoxa* leafy biomass in agroforestry parklands of Koulikoro, southern Mali. Error bars represent +/- one standard error of the mean. Leaf types with different lower-case letters above the standard error of the mean show significant differences ($p < 0.01$).

Nitrogen concentration in green leaves in the rainy season were 86% higher ($p < 0.01$) than dry season senescent leaves (Fig. 4). Phosphorous and K concentration in the rainy season were 61% and 38% respectively, greater ($p < 0.01$) than those in the dry season (Table 1). Calcium and Mg concentration in the rainy season were 18% and 10% lower ($p < 0.01$ and $p < 0.05$) than those in the dry season. Potassium ($p < 0.05$) concentrations in green leaves was 11% greater ($p < 0.05$) than in senescent leaves. Nitrogen uptake in the dry season was 65% greater ($p < 0.01$) than in the rainy season (Fig. 5).

DISCUSSION

Average annual litterfall of *V. paradoxa* (3161 kg ha⁻¹ year⁻¹) in our study falls within the upper range of 1360 to 4216 kg ha⁻¹ litterfall reported for agroforestry parklands in Mali [8] and Burkina Faso [13]. The highest and lowest litterfall recorded in February and August, respectively, mirrors the seasonal variation in litterfall.

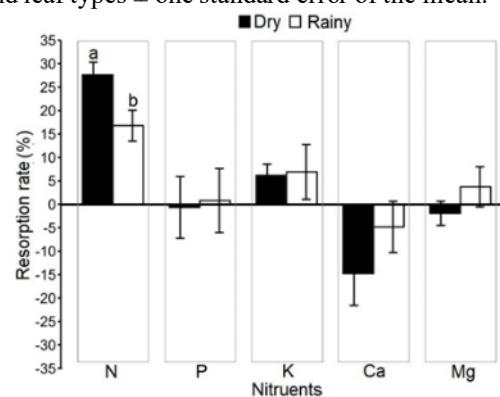


Figure 5 : Seasonal nutrient resorption of *Vitellaria paradoxa* leafy biomass in agroforestry parklands of Koulikoro, southern Mali. Error bars represent +/- one standard error of the mean. Nutrients with different lower-case letters above the standard error of the mean show significant differences ($p < 0.01$). Similar to our findings, higher litterfall during the dry season has been reported in agroforestry parklands of Mali, [32] Burkina Faso, [33] and Ethiopia [11] and in cocoa agroforestry of Ghana by [18]. As an adaptation mechanism to the dry season, trees reduce moisture stress by shedding more leaves to limit water loss through transpiration [34]. High N, P, and K concentrations in the rainy season reflect high uptake of these nutrients from the soil solution due to increased litter decomposition and mineralization whereby high moisture levels during the rainy season increase soil organism activity, leading to faster decomposition of litter [35]–[37]. Contrarily high Ca and Mg in the dry season is likely due to high deposition of dust on leaves, which has been reported to contain high amounts of Ca and Mg [38]. Another explanation could be that these nutrients accumulate in the leaves during drought as osmotic agent [39], [40]. Earlier studies [21], [41], [42] also reported higher Ca and Mg concentrations in leaves during the dry season. Considering the limitation of N in Sahelian soils [43], higher N resorption rates during the dry season shows V.

paradoxa adaptative strategy to conserve essential N required for new growth in the rainy season. According to [44], higher N resorption efficiency is often observed under nutrient-poor and dry conditions, as plant optimize nutrient use efficiency. Our findings confirm the observation of higher N reabsorption rates in *Cordia africana* Lam., *Albizia gummifera* (J.F.Gmel.) C. A. Sm. and *Milletia ferruginea* (Hochst.) Hochst. ex Baker trees during the dry season in Ethiopia [19].

CONCLUSION

Our study sheds light on the seasonal fluctuations in annual litterfall dynamics and nutrient deposition of *V. paradoxa* in the agroforestry parklands of Koulikoro, southern Mali. We observed significant seasonal changes in litterfall, with peak periods occurring during the dry season and decreased litterfall during the rainy season. These indicate the species' adaptation to moisture stress. Additionally, our findings reveal major seasonal changes in nutrient concentrations within *V. paradoxa* leaves. Nitrogen, P and K concentrations were higher during the rainy season compared with the dry season. In contrast, Ca and Mg concentrations were higher during the dry season than in the rainy season. To optimize nutrient management in agroforestry parklands, farmers whose soils are low in N, P, and K may wish to prune *V. paradoxa* leaves during the rainy season, when nutrient concentrations are higher and can better promote crop growth. Additionally, before the planting season, instead of burning incorporation of litterfall into the soil during land preparation will contribute to increase Ca and Mg levels.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the German Academic Exchange Service (DAAD) for awarding the first author a PhD scholarship (ID 57552340) and to the EU-funded Horizon 2020 project SustainSahel (No 861974) for providing infrastructural support. We extend our thanks to the IPR/IFRA of Katibougou, Mali for hosting the fieldwork activities of this study. We are also thankful to Claudia Thieme-Fricke and Eva Wiegard for their invaluable technical assistance. Our sincere thanks also goes to Prof. Moussa Karembe and Prof. Fadiala Dembélé for their invaluable assistance during this study's fieldwork. We highly appreciate the support provided by Adama Diarra, Adama Diarra Jr., Dramane Diarra, Mohamed T Traoré, Awa Diarra, Joa Maximilien Diarra, Issa Coulibaly, Dowory

Traoré and Oumou Samaké who contributed to this work by assisting in data collection.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] P. Clinquart, "Representations et usages des espèces ligneuses: Une approche par les traits fonctionnels pour une ingénierie des systèmes agroforestiers en Zones Arides et Semi-Arides," Ecole d'Ingénieurs de PURPAN, 2010.
- [2] J. M. Boffa, *Agroforestry parklands in sub-Saharan Africa*, vol. 34. Rome: FAO, 1999.
- [3] E. Vall, M. Koutou, M. Blanchard, K. Coulibaly, M. A. Diallo, and N. Andrieu, "Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agrosylvopastoraux de l'Ouest du Burkina Faso, province du Tuy," *Cirad*, no. Nov 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, p. 13, 2012.
- [4] A. Takimoto, P. K. R. Nair, and V. D. Nair, "Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 125, no. 1–4, pp. 159–166, May 2008, doi: 10.1016/j.agee.2007.12.010.
- [5] L. Sanou, J. Koala, O. Souleymane, and B. Ouattara, "Influence of land tenure on agroforestry parkland phyto-diversity and stand structure in Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa," *Glob. J. Agric. Innov. Res. Dev.*, vol. 9, pp. 20–34, 2022, doi: 10.15377/2409-9813.2022.09.3.
- [6] J. Bayala, J. Sanou, Z. Teklehaimanot, A. Kalinganire, and S. J. Ouédraogo, "Parklands for buffering climate risk and sustaining agricultural production in the Sahel of West Africa," *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 6, no. 1, pp. 28–34, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.COSUST.2013.10.004.
- [7] C. Ky-Dembele *et al.*, "Land use dictates diversity, density and regeneration of woody species in southwestern Mali, West Africa," *Trop. Ecol.*, vol. 60, no. 1, pp. 114–128, 2019, doi: 10.1007/s42965-019-00015-2.
- [8] K. Traore, F. Ganry, R. Oliver, and J. Gigou, "Litter production and soil fertility in a *Vitellaria paradoxa* parkland in a catena in southern Mali," *Arid L. Res. Manag.*, vol. 18, no. 4, pp. 359–368, 2004, doi: 10.1080/15324980490497393.
- [9] Pankaj, K. K. Bhardwaj, R. Yadav, V. Goyal, and M. K. Sharma, "Pattern of litterfall production and nutrient addition in soil through litterfall by different tree species: A review," *Environ. Conserv. J.*, vol. 25, no. 1, pp. 257–266, 2024, doi: 10.36953/ECJ.24592671.
- [10] N. R. Murovhi, S. A. Materechera, and S. D. Mulugeta, "Seasonal changes in litter fall and its quality from three sub-tropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa," *Agrofor. Syst.*, vol. 86, no. 1, pp. 61–71, 2012, doi: 10.1007/s10457-012-9508-6.
- [11] G. Kassa, T. Bekele, S. Demissew, and T. Abebe, "Leaves litterfall and nutrient inputs from four multipurpose tree/shrub species of homogarden agroforestry systems," *Environ. Syst. Res.*, vol. 11, no. 1, p. 29, 2022, doi: 10.1186/s40068-022-00278-0.
- [12] M. A. Guihini, M. D. Diallo, A. Diallo, M. M. Saleh, and A. Guisse, "Distribution des ligneux sur le tracé de la grande muraille verte : cas de batha et de wadi-fira Ouest au Tchad," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 144–155, 2021, doi: 10.4314/ijbcs.v15i1.13.
- [13] S. Mahamane, "Caractérisation biophysique et incidence des parcs à *Vitellaria paradoxa* et *Faidherbia albida* sur les facteurs pédoclimatiques et la productivité du maïs dans la zone ouest du Burkina Faso," 2009.
- [14] A. B. Nambima, T. D. Houehanou, and G. N. G. H. S. Biao, "Parcs agroforestiers traditionnels en Afrique de l'

- 'Ouest : Analyse bibliographique sur leur contribution à l'amélioration de la fertilité des sols et à l'atténuation des effets du changement climatique," *Bull. la Rech. Agron. du Bénin*, vol. 33, no. 3, pp. 1–13, 2023.
- [15] A. Nikiema, *Agroforestry parkland species diversity: uses and management in semi-arid West Africa* (Burkina Faso), no. January 2005. 2005.
- [16] L. J. M. Kater, S. Kante, and A. Budelman, "Karite (*Vitellaria paradoxa*) and nere (*Parkia biglobosa*) associates with crops in South Mali," *Agrofor. Syst.*, vol. 18, pp. 89–105, 1992.
- [17] G. T. Freschet, R. Aerts, and J. H. C. Cornelissen, "Multiple mechanisms for trait effects on litter decomposition: Moving beyond home-field advantage with a new hypothesis," *J. Ecol.*, vol. 100, no. 3, pp. 619–630, 2012, doi: 10.1111/j.1365-2745.2011.01943.x.
- [18] D. K. Agbotui, M. Ingold, and A. Buerkert, "Carbon and nutrient cycling in cocoa agroforests under organic and conventional management," *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, no. 0123456789, 2024, doi: 10.1007/s10705-024-10349-6.
- [19] T. Teklay, "Seasonal dynamics in the concentrations of macronutrients and organic constituents in green and senesced leaves of three agroforestry species in southern Ethiopia," *Plant Soil*, vol. 267, no. 1–2, pp. 297–307, 2004, doi: 10.1007/s11104-005-0124-3.
- [20] L. Duchesne, R. Ouimet, C. Camiré, and D. Houle, "Seasonal nutrient transfers by foliar resorption, leaching, and litter fall in a northern hardwood forest at Lake Clair Watershed, Quebec, Canada," *Can. J. For. Res.*, vol. 31, no. 2, pp. 333–344, 2001, doi: 10.1139/cjfr-31-2-333.
- [21] K. T. Killingbeck, "Nutrients in senesced leaves: Keys to the search for potential resorption and resorption proficiency," *Ecology*, vol. 77, no. 6, pp. 1716–1727, 1996, doi: 10.2307/2265777.
- [22] K. T. Killingbeck and R. Tainsh, "Does leaf size influence resorption of nutrients from senescing leaves?," *Northeast. Nat.*, vol. 9, no. 2, pp. 213–220, 2002, doi: 10.1656/1092-6194(2002)009[0213:DLSIRO]2.0.CO;2.
- [23] K. Traore, R. Oliver, F. Ganry, and J. Gigou, "Effects of the shea butter tree (*Vitellaria paradoxa*) on soil fertility at different catena positions in South Mali," *World Congr. Soil Sci. Bangkok*, vol. August, no. 17, pp. 113–122, 2002.
- [24] S. Oyedele, O. O. Agboola, D. A. Animasaun, C. O. Ogunkunle, and P. O. Fatoba, "Organic carbon, nitrogen and phosphorus enrichment potentials from litter fall in selected greenbelt species during a seasonal transition in Nigeria's savanna," *Trop. Ecol.*, vol. 62, no. 4, pp. 580–588, 2021, doi: 10.1007/s42965-021-00172-3.
- [25] M. B. Diallo, P. B. I. Akponikpè, T. Abasse, D. Fatondji, and E. K. Agbossou, "Combined effect of trees and soil fertility management practices on millet yields in the Sahel," *Agrofor. Syst.*, vol. 95, no. 4, pp. 717–730, 2021, doi: 10.1007/s10457-021-00624-8.
- [26] F. Baziari, K. B. Henquinet, and M. A. Cavalieri, "Understanding farmers' perceptions and the effects of shea (*Vitellaria paradoxa*) tree distribution in agroforestry parklands of Upper West Region, Ghana," *Agrofor. Syst.*, vol. 93, no. 2, pp. 557–570, 2019, doi: 10.1007/s10457-017-0150-1.
- [27] G. Serpantié, M. Yoni, V. Hien, L. Abbadie, A. Bilgo, and B. Ouattara, "Le carbone du sol dans les terroirs des savanes soudanaises cotonnières," *Bull. du Réseau Eros.*, no. 22, pp. 348–370, 2004.
- [28] P. Sissoko, "Le microdosage d'engrais : une technique d'amélioration des moyens d'existence des producteurs pauvres au Sahel. Cas des exploitations agricoles à base de mil et de sorgho au Mali," LIEGE universté, 2019.
- [29] P. K. R. Nair, *An introduction to agroforestry*. Kluwer academic publishers in cooperation with international centre for research in agroforestry, 1993.
- [30] D. Bambara, J. Sawadogo, O. Kaboré, and A. Bilgo, "Variabilité de certains paramètres climatiques et impacts sur la durée des périodes humides de développement végétal dans une station au centre et une autre au nord du Burkina Faso," *Vertigo*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.4000/vertigo.24384.
- [31] I. N'Diaye, J. B. Aune, G. Synnevåg, H. Yossi, and A. Hamadoun, *Adaptation de l'agriculture et de l'élevage au changement climatique au Mali, résultats et leçons apprises au Sahel*, no. November. Bamako, Mali, 2020.
- [32] B. A. Kelly, M. Poudyal, and J.-M. Bouvet, "Variation of *Vitellaria paradoxa* phenophases along the north-south gradient in Mali," *Res. Plant Biol.*, vol. 8, pp. 08–16, 1970, doi: 10.25081/ripb.2018.v8.3466.
- [33] P. Bazié, C. Ky-Dembele, C. Jourdan, O. Roupsard, G. Zombré, and J. Bayala, "Synchrony in the phenologies of fine roots and leaves of *Vitellaria paradoxa* in different land uses of Burkina Faso," *Agrofor. Syst.*, vol. 93, no. 2, pp. 449–460, Apr. 2019, doi: 10.1007/S10457-017-0135-0.
- [34] Y. Yang, J. Guo, G. Chen, Z. He, and J. Xie, "Effects of slash burning on nutrient removal and soil fertility in Chinese fir and evergreen broadleaved forests of mid-Subtropical China | Request PDF," *Pedosphere*, vol. 12, no. 1, pp. 87–96, 2003.
- [35] K. Peña-peña and U. Irmler, "Moisture seasonality , soil fauna , litter quality and land use as drivers of decomposition in Cerrado soils in SE-Mato Grosso , Brazil," *Appl. Soil Ecol.*, vol. 107, pp. 124–133, 2016, doi: 10.1016/j.apsoil.2016.05.007.
- [36] F. H. Cornejo, A. Varela, S. J. Wright, and S. J. Tropical, "Tropical forest litter decomposition under seasonal drought: Nutrient release , Fungi and Bacteria," *Oikos*, vol. 70, no. 2, pp. 183–190, 1994, doi: https://about.jstor.org/terms.
- [37] B. Tan *et al.*, "Temperature and moisture modulate the contribution of soil fauna to litter decomposition via different pathways," *Ecosystems*, vol. 24, no. 5, pp. 1142–1156, 2021, doi: 10.1007/s10021-020-00573-w.
- [38] J. J. Stoorvogel, N. Van Breemen, and B. H. Janssen, "The nutrient input by harmattan dust to a forest ecosystem in Côte d'Ivoire, Africa," *Biogeochemistry*, vol. 37, pp. 145–157, 1997, doi: 10.1023/A:1005734225727.
- [39] D. T. Bell and S. C. Ward, "Seasonal changes in foliar macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) in Eucalyptus saligna Sm. and E. wandoo Blakely growing in rehabilitated bauxite mine soils of the Darling Range, Western Australia," *Plant Soil*, vol. 81, no. 3, pp. 377–388, 1984, doi: 10.1007/BF02323052.
- [40] I. Prieto and J. I. Querejeta, "Simulated climate change decreases nutrient resorption from senescing leaves," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 26, no. 3, pp. 1795–1807, 2020, doi: 10.1111/gcb.14914.
- [41] E. K. S. Nambiar and D. N. Fife, "Nutrient retranslocation in temperate conifers," *Tree Physiol.*, vol. 9, no. 1–2, pp. 185–207, 1991.
- [42] R. E. Drenovsky and J. H. Richards, "Critical N:P values: Predicting nutrient deficiencies in desert shrublands," *Plant Soil*, vol. 259, no. 1–2, pp. 59–69, Feb. 2004, doi: 10.1023/B:PLSO.0000020945.09809.3D.
- [43] A. Bationo, F. Lompo, and S. Koala, "Research on nutrient flows and balances in West Africa: State-of-the-art,"

Agric. Ecosyst. Environ., vol. 71, no. 1–3, pp. 19–35, 1998,
doi: 10.1016/S0167-8809(98)00129-7.

[44] R. Aerts, “Nutrient Resorption from Senescing Leaves of Perennials: Are there General Patterns ?,” *J. Ecol.*, vol. 84, no. 4, pp. 597–608, 1996, doi: <https://about.jstor.org/terms>.

Vitesse de Décomposition des Emondés de *Guiera senegalensis*, de *Piliostigma reticulatum* et de *Gliricidia sepium* et leurs Effets sur la Vitesse d'infiltration de l'Eau dans le Sol dans les Conditions Agroécologiques de Katibougou

KONE Souleymane^{1*}, KOUYATE Aliou Badara¹, DEMBELE Sidiki Gabriel¹, COULIBALY Hawa¹, SANOGO Sidi², SISSOKO Fagaye², CICEK Harun³, SOUSA Fernando³

¹ Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou, Mali ;

² Institut d'Economie Rurale CRRA de Sikasso, Mali ; / ³ FiBL, Swiss

[*souleymanekone6@gmail.com](mailto:souleymanekone6@gmail.com)

RESUME : Le maintien de la capacité productive des sols est corrélé à la présence et à la teneur en matière organique. Cependant, la disponibilité quantitativement et qualitativement de la matière organique demeure des contraintes majeures à son utilisation à grande échelle par les producteurs. C'est dans cette optique qu'une étude en deux phases a été initiée dans les conditions agroécologiques de Katibougou. La première phase a porté sur la décomposition des biomasses de *Guiera senegalensis*, de *Piliostigma reticulatum* et de *Gliricidia sepium* et la seconde phase a concerné l'évaluation de la vitesse d'infiltration de l'eau sur des parcelles fertilisées avec les émondés desdites espèces.

L'objectif des études était, d'une part de déterminer la vitesse de décomposition de émondés de ces ligneux et d'autre part évaluer la vitesse d'infiltration de l'eau après leur application en compostage de surface. Des résultats, il ressort une décomposition plus avancée pour la biomasse de *Gliricidia sepium* suivi de celles de *Piliostigma reticulatum* et du *Guiera senegalensis*. En effet, plus de 50% de la matière sèche de *Gliricidia sepium* s'est décomposée en 30 jours après enfouissement. Quant à la vitesse d'infiltration, elle oscille entre 0.20 et 0.22 cm/minuttes pour les parcelles ayant reçu les émondés.

Mots clés : Emondés, décomposition, infiltration, vitesse.

INTRODUCTION

La dégradation des sols au Mali est devenue une préoccupation majeure pour la production agricole car 22% des terres arables sont affectés (FAO et al., 2015 cité par DOUMBIA et al., 2020). L'agriculture est pratiquée majoritairement par de petites exploitations familiales cultivant principalement du mil, du sorgho, du maïs, du riz et du coton et une grande partie de cette production est autoconsommée (KONE et al., 2019).

Le maintien de la capacité de production des sols passe indispensamment par l'apport de la matière organique qui permet d'améliorer la structure des sols, de les enrichir en éléments fertilisants et de limiter la consommation de l'eau par les plantes (KOUYATE, 2021). Cependant, les engrains organiques (ordures ménagères, bouse de gros et petits ruminants etc.), ne sont pas facilement disponibles et les résidus de récolte ont un usage domestique (production d'énergie matériaux de construction, aliment bétail) (SADI et al. 2020 cité par KOUYATE, 2021).

De nombreuses études ont démontré que la pratique de l'agroforesterie est un moyen qui permet d'améliorer la fertilité des sols. Les litières des

ligneux par décomposition naturelle constituent une source importante de matières organiques pour les sols (KABORE et al. 2020). En effet, de par leur abondance et leur croissance relativement rapide, les arbustes constituent une grande source de matière organique pour les systèmes de productions traditionnels.

L'amélioration de la fertilité des sols et de la production par l'utilisation des émondés de ligneux par la pratique de compostage en surface a été prouvée par plusieurs études au Mali (DOUMBIA et al., 2020 ; KOUYATÉ et al., 2021).

Cependant, peu d'études ont porté sur l'utilisation combinée des émondés de diverses espèces ligneuses sur la production céréalière au Mali. Il est donc essentiel de contribuer à l'approfondissement des connaissances du système arbre-culture à travers l'évaluation du modèle de décomposition des émondés de ligneux en plein champ et leur impact sur les performances agronomiques du sorgho dans la zone soudano-sahélienne du Mali.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Site

Ces études ont été conduites à la station de l'IPR/IFRA de Katibougou du cercle de Koulikoro. Les précipitations oscillent entre 745,3 et 1042 mm avec une moyenne annuelle de 857,91 mm. Les sols ferrugineux tropicaux sont les types dominants dans la zone d'étude. Les caractéristiques du sol du site de l'étude sont consignées dans le tableau 1.

Matériel végétal et technique

Les émondages de *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum* et de *Gliricidia sepium* ont été utilisées à la dose de 2,5 tonnes / ha.

Le petit matériel technique se compose de dabas, de cordes, de mètre-ruban, d'assiettes en papier aluminium, de balance ultrasensible et d'étuve.

Méthodes

Décomposition des émondages dans les sacs à litières

Les émondages fraîches de trois (03) espèces ligneuses (*Guiera senegalensis* (Gus), *Piliostigma reticulatum* (Pr) et *Gliricidia sepium* (Gs)) ont été cueillies et mises à l'étuve pendant 48h à 65°C pour le séchage. Après séchage dans l'étuve, 100 g de matières sèches ont été mis dans des sacs à litières pour un total de 36 échantillons (12 échantillons par espèce ligneuse). Ces sacs à litières ont été enfouis dans la parcelle à une profondeur de 10 cm. Un prélèvement est réalisé chaque 15 jours. Un total de quatre (04) prélèvements est réalisé.

A chaque prélèvement, 3 échantillons de chaque espèce ligneuse ont été enlevés afin de déterminer leur vitesse de décomposition. Le contenu de chaque sac à litières a été soumis au nettoyage pour enlever les mottes de terre du substrat. Le nettoyage a été effectué avec de l'eau et un tamis de 2mm de mailles. Le substrat a ensuite été mis dans l'étuve à 65°C pendant 24h pour séchage. Le substrat a été pesé pour la détermination de la perte de poids.

Vitesse d'infiltration de l'eau

Quant à la vitesse d'infiltration de l'eau a été évaluée par la méthode du double cylindre. Elle a été mesurée sur 05 traitements répétés 4 fois :

- T1 : Sans apport de nutriments ;
- T2 : *Piliostigma reticulatum* (2,5 tonnes / ha) ;
- T3 : *Guiera senegalensis* (2,5 tonnes / ha) ;
- T4: *Gliricidia sepium* (2,5 tonnes / ha) ;
- T5 : *Piliostigma reticulatum* (0,83 tonnes / ha) + *Guiera senegalensis* (0,83 tonnes / ha) + *Gliricidia sepium* (0,83 tonnes / ha) ;

Résultats et discussion

A 30 jours après enfouissement, plus de 50% de la biomasse de *Gliricidia sepium* avait subi la décomposition suivit respectivement de celle de *Piliostigma reticulatum* et du *Guiera senegalensis*.

Les figures 1 et 2 ci-dessous présentent la vitesse de décomposition des différentes émondages.

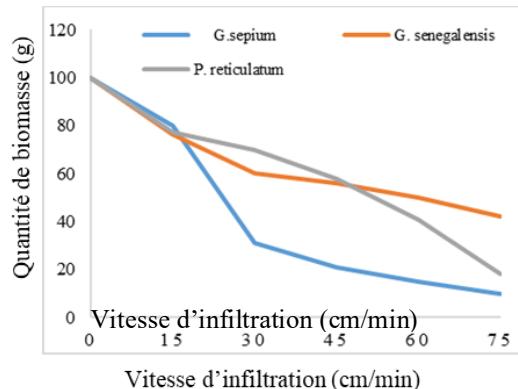


Figure 1: Dynamique de la décomposition 2021-2022

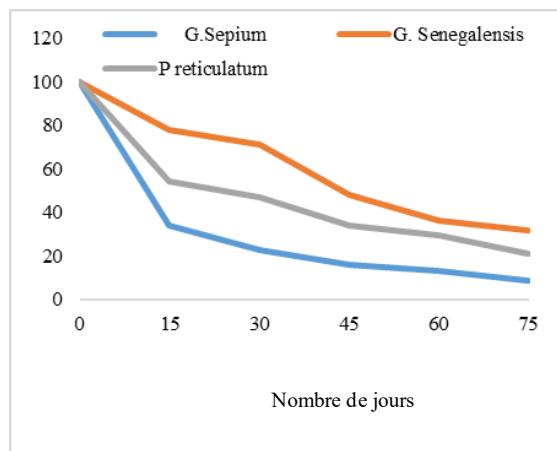


Figure 2 : Dynamique de la décomposition 2023-2024

Vitesse d'infiltration de l'eau

La plus faible vitesse a été enregistrée sur la parcelle sans apport (0,16 cm/min.) et la plus élevée (0,22 cm/min.) avec les parcelles ayant reçu les émondages de *Guiera senegalensis* et celles de *Gliricidia sepium* (figure 3). En effet, les matières organiques favorisent la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol (CHABBI et LEMAIRE, 2007, Kim et al. 2010 cité par MESHRAM et al. 2020).

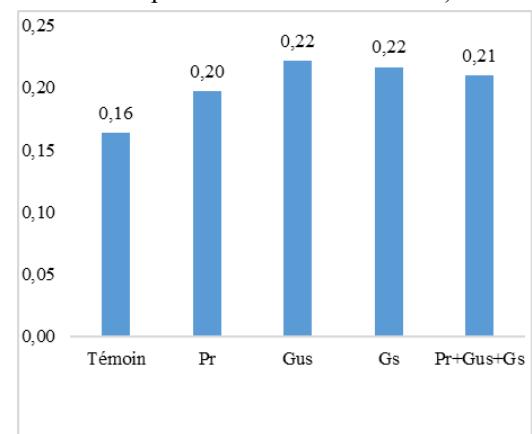


Figure 3 : Vitesse d'infiltration par type d'émondages

RÉFÉRENCES

- MESHRAM N. A., DALVI V. V., PINJARI S. S., RATHOD R. R., NARKHADE S. S., 2020 : Litters effect on soil physicochemical and biological processes
- DOUMBIA S., 2020 : Effets de la fertilisation organo-minérale sur les caractéristiques des sols et les rendements du coton, du maïs et du sorgho en rotation dans un système de culture en couloir avec le *Gliricidia sepium* dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne du Mali.
- KABORE W. B., SOULAMA S., BAMBARA D., BEMBAMBA M., HIEN E., 2020. Effet de *Albizia lebbeck* (L.) Benth. et *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. sur les paramètres de fertilité du sol. 16078 Journal of Applied Biosciences 156: 16078 - 16086 ISSN 1997-5902. <https://doi.org/10.35759/JABS.156.2>
- KONE Y., THERIAULT V., KERGNA A., SMALE M., 2019. Projet de Recherche sur les Politiques de Sécurité Alimentaire au Mali la subvention des engrains au mali : origines, contexte et évolution. Feed the Future Innovation Lab for Food Security Policy Document de recherche 142 Copyright © 2019, Michigan State University. Publié par le Département d'économie agricole, alimentaire et des ressources naturelles, Michigan State University,
- KOUYATÉ A. B., DEMBÉLÉ S.G., DOUMBIA S., CAMARA B., FAMANTA M., 2021. Effet des émondés de *Gliricidia sepium* sur la production du maïs dans la zone Soudano-Sahélienne du Mali ; *Afrique SCIENCE* 18(5) (2021) 144 – 15

Evaluation du biopesticide Aflasafe ML01 dans le contrôle de l'infestation des grains de maïs, sorgho et arachide par l'aflatoxine au Mali

Assetou KONE^{1*}, Aissata Aida DIA², Halimatou TIMBINE¹ and Karim DAGNO¹

¹Institut d'Économie Rurale Bamako, Mali.

²Institute for Research in Geriatric Geriatrics (IERGG-MA)

*assetouskone@yahoo.fr; diafall002@gmail.com;

RÉSUMÉ: Les aflatoxines sont des toxines naturelles produites sur les céréales par certains champignons mycéliens comme *Aspergillus flavus*. Elles provoquent d'importants problèmes de santé publique et de pertes économiques. Il est nécessaire de développer des méthodes de lutte durables et efficaces contre ces poisons naturels. Le bio pesticide aflasafe ML01 a été développé par l'Institut d'Economie Rurale. Ce travail se propose de réaliser des tests multifocaux pour évaluer l'efficacité biologique de l'aflasafe ML01 contre les aflatoxines dans les cultures de maïs, sorgho et arachide au Mali. Des tests en champs ont été menés sur plusieurs années sur les céréales. A la récolte, des échantillons de grains ont été collectés dans les champs traités avec le bio pesticide et dans les champs témoins qui n'ont pas été traités avec aflasafe ML01. Les résultats ont démontré une diminution de la production d'aflatoxines de l'ordre de 70 à 90% dans les champs traités. L'application de l'aflasafe a considérablement réduit la teneur en aflatoxine dans les céréales.

Mots clés : Aflatoxine, céréales, bio pesticide, aflasafe ML01, santé publique.

INTRODUCTION

L'aflatoxine est un contaminant mycotoxique majeur qui affecte de nombreuses cultures vivrières dans les régions tropicales et subtropicales [3]. Les dommages économiques et sanitaires causes par l'aflatoxine sont considérables, notamment dans la production de maïs, de sorgho et d'arachide [3]. Le bio pesticide aflasafe a été développé pour lutter contre ce problème. Il est composé de souches atoxigènes du champignon *Aspergillus flavus*, l'agent causal de la contamination par l'aflatoxine. Lorsqu'il est appliqué aux cultures d'aflasafe entre en compétition avec les souches toxicogènes d'*A. flavus*, réduisant ainsi considérablement la production d'aflatoxine dans les récoltes. De nombreuses études ont évalué l'efficacité d'aflasafe dans différentes régions d'Afrique qui montrent que son utilisation permet de réduire les niveaux d'aflatoxine dans le maïs, le sorgho et l'arachide de 80 à 99% par rapport aux champs témoins non traités [3]. Cela se traduit par une amélioration significative de la qualité et de la sécurité sanitaire des récoltes. Aflasafe ML01 est donc un produit pour lutter durablement contre la contamination par l'aflatoxine dans ces cultures vivrières essentielles. Son utilisation à grande échelle pourrait avoir un impact majeur sur la sécurité alimentaire et la santé publique dans les régions touchées [4]. L'utilisation du bio pesticide Aflasafe ML01 réduira significativement les niveaux d'aflatoxine dans les grains de maïs, sorgho et arachide cultivés au Mali comparé aux cultures non traitées avec ce bio pesticide.

Tester cette hypothèse permettra de déterminer si aflasafe ML01 peut être un outil efficace pour lutter contre la contamination par les aflatoxines, un problème majeur de sécurité alimentaire et de la santé publique au Mali [3]. L'étude de base sur l'état de contamination des céréales par les aflatoxines à travers le pays et la caractérisation fongique ont commencé à partir de 2018. La caractérisation fongique a révélé que parmi les souches atoxigènes d'*Aspergillus flavus* isolées au Mali appartenait aux mêmes génotypes composant les produits Aflasafe utilisés au Sénégal (Aflasafe SN01) et au Burkina Faso (Aflasafe BF01). Ainsi, cela a ouvert la possibilité d'utiliser l'un ou l'autre produit au Mali, puisque les deux biopesticides ont été déjà homologués par le CSP-CILSS. Cependant, il s'agissait de déterminer les niveaux de base d'aflatoxines dans les cultures, puis de mener des essais d'efficacité biologique sur le terrain avec les produits Aflasafe SN01 et Aflasafe BF01. L'objectif global de cette étude est de mettre en œuvre un système de gestion intégrée des aflatoxines à grande échelle avec l'Aflasafe comme pilier dans le processus de protection des chaînes alimentaires contre la contamination par les mycotoxines au Mali.

MATERIEL ET METHODES

Echantillonage

Cent douze échantillons de maïs, 91 d'arachide et 85 de sorgho ont été collectés dans les régions de Kayes, Koulikoro, Ségou et Sikasso. Les échantillons de grains ont été séchés à l'ombre pendant environ 10 jours avant d'être transportés au Laboratoire de phytopathologie à Sotuba.

Quantification de l'aflatoxine Traitement des échantillons

Dans le laboratoire, chaque échantillon a été homogénéisé individuellement (en mélangeant à la main les grains dans des sacs d'échantillons individuels) et divisé en deux lots égaux. La moitié des échantillons a été envoyée au laboratoire de pathologie et de mycotoxines de l'IITA à Ibadan, au Nigeria, par fret aérien, et l'autre a été conservée en réserve. L'envoi d'échantillons a été effectué après l'obtention des permis requis. La période allant du prélèvement de l'échantillon à l'analyse était de deux semaines. L'échantillonnage a été effectué en saison sèche. Les échantillons de maïs et de sorgho ont été broyés à l'aide d'un moulin à café (Bunn-o-Matic Corporation, Springfield, Oregon, IL, USA), tandis que les échantillons d'arachide ont été broyés à l'aide d'un mélangeur de laboratoire à grande vitesse (Waring Commercial, Springfield, MO, USA).

Cela a permis d'obtenir une taille de particules <1 mm. Les échantillons broyés ont été soigneusement mélangés et placés dans des sacs en plastique scellés et étiquetés avant stockage au froid à 4°C jusqu'à analyse ultérieure. Le broyeur et le mélangeur ont été soigneusement lavés entre les échantillons avec de l'éthanol à 80 % pour éviter la contamination croisée.

Pour l'arachide, 20 g de l'échantillon broyé ont été combinés avec 100 mL de méthanol à 80 % tandis que pour le maïs et le sorgho, 20 g des échantillons broyés ont été combinés avec 100 mL de méthanol à 70 % ([1]; [2]). Les mélanges de chaque échantillon de culture ont été secoués sur un Roto-Shake Genie (Scientific Industries, Bohemia, NY, USA) pendant 30 min à 400 tr/min puis filtrés à travers du papier filtre Whatman n° 1 (Whatman Intl. Ltd., Maidstone, Angleterre). Ensuite, les aflatoxines ont été extraites, développées sur des plaques de chromatographie en couche mince aux côtés d'étalons d'aflatoxine en utilisant un mélange diéthylther:méthanol:eau (96:3:1) dans une chambre de développement et quantifiées avec un densitomètre à balayage couplé au logiciel winCATS, comme décrit précédemment [2]. Les aflatoxines totales (TAF) ont été calculées en ajoutant les aflatoxines B1, B2, G1 et G2 [3].

Analyse des données

Les valeurs de TAF ont été transformées en log [$y = \log_{10} (1 + \text{TAF en } \mu\text{g/kg})$] pour normaliser les variances. Les teneurs en aflatoxines des cultures individuelles ont été examinées dans toutes les régions, et les teneurs en aflatoxines des cultures ont été comparées au sein des régions. Les données ont été soumises à une analyse de variance et les moyennes ont été séparées à l'aide du test de Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0,05$). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS v9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus ont montré que quelle que soit la culture, l'application du biopesticide aflasafe a permis de réduire de façon significative la teneur des aflatoxines dans les échantillons de maïs, sorgho et d'arachide (Figures 1-3). Par ailleurs, ces résultats ont révélé en même temps ce sont les cultures d'arachide puis de maïs qui sont fortement attaquées avec des teneurs allant jusqu'à plus de 100 ppb.

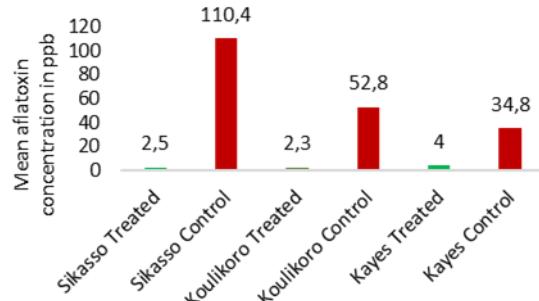


Figure 1 Quantification des aflatoxines dans les échantillons d'arachide collectés dans différentes régions du Mali pendant la campagne 2021-2022.

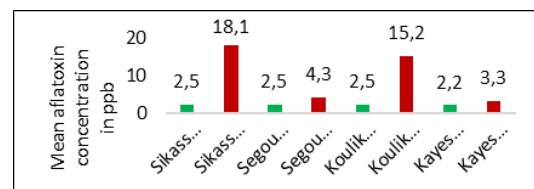


Figure 2 : Quantification des aflatoxines dans les échantillons de sorgho collectés dans différentes régions du Mali pendant la campagne 2021-2022.

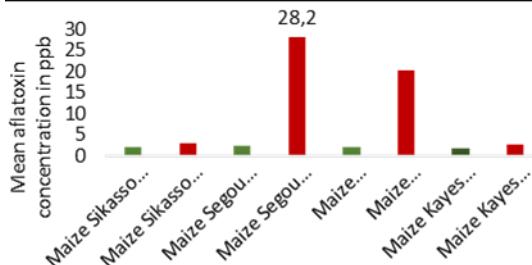


Figure 3: Quantification des aflatoxines dans les échantillons de maïs collectés dans différentes régions du Mali pendant la campagne 2021-2022.

RESULTATS OBTENUS LORS DE LA CAMPAGNE 2022-2023

Tests d'efficacité biologique du biopesticide aflasafe

La concentration des aflatoxines a varié entre les cultures et au sein des sites dans les différentes régions de tests (Figure 4). Généralement, les niveaux moyens d'aflatoxine étaient plus élevés à Kayes. Par ailleurs, le maïs et l'arachide avaient généralement des niveaux d'aflatoxine plus élevés que le sorgho dans les différentes régions.

Au niveau de tous les sites d'échantillonnage, la

concentration des aflatoxines sur les céréales était inférieure à 10 ppb, taux autorisé dans les aliments par le Programme Alimentaire Mondiale (PAM) (Figure 5).

Le tableau 2 illustre les pourcentages de l'efficacité de contrôle biologique des aflatoxines par le biopesticide aflasafe dans les régions de Kayes et de Koulikoro. A cet effet, pour la norme de l'Union Européenne (UE) qui limite la présence des aflatoxines dans les aliments à <4 ppb, on a obtenu de 60 à 71% d'efficacité de contrôle des parcelles traitées avec le biopesticide. Quant aux normes des USA (<20 ppb), l'application du biopesticide a permis un taux de contrôle variant entre 99 à 100% (Tableau 2).

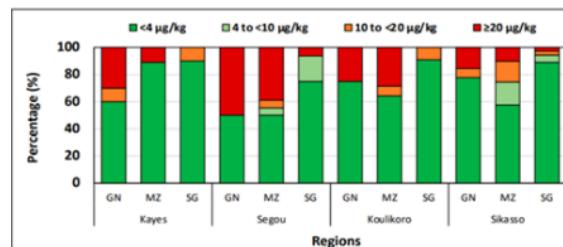


Figure 4: Pourcentage des échantillons contenant différentes catégories de concentrations ($\mu\text{g}/\text{kg}$) dans le sorgho, arachide et le maïs collectés dans les régions de Sikasso, Kayes, Ségou et Koulikoro. GN : arachide ; MZ : maïs ; SG : Sorgho.

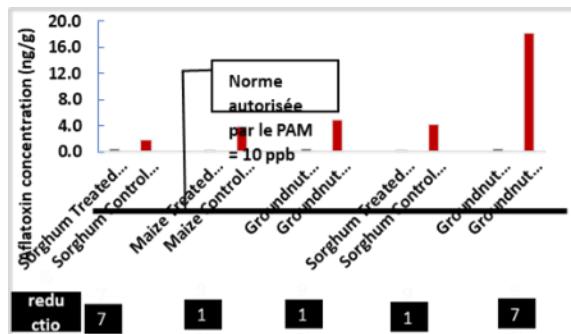


Figure 5: Concentration des aflatoxines sur les céréales prélevées dans les différentes régions du Mali en fonction de la norme internationale autorisée par le Programme Alimentaire Mondiale (PAM).

Tableau 1: Pourcentage d'efficacité de contrôle des aflatoxines dans les différentes régions de tests.

Cultures	Traitements	Régions	Moyenne	Centrale	Variance	N	<4 ppb (%)	<20 ppb (%)
Sorgho	Traité	Kayes	4.3	3.5	89.45	94	71%	99%
	Contrôle	Kayes	18.6	10.5	388.95	94	18%	65%
Mais	Traité	Kayes	3.4	4.1	1.54	3	33%	100%
	Contrôle	Kayes	39.4	48.0	952.90	3	33%	33%
Arachide	Traité	Kayes	4.4	4.0	3.37	16	50%	100%
	Contrôle	Kayes	49.1	29.6	3035.59	16	13%	38%
Sorgho	Traité	Koulikoro	3.8	3.7	0.59	45	60%	100%
	Contrôle	Koulikoro	42.2	37.3	848.75	45	100%	29%
Arachide	Traité	Koulikoro	5.4	5.4	0.01	2	0%	100%
	Contrôle	Koulikoro	180.8	180.8	15.68	2	0%	0%

DISCUSSION

Les résultats des différentes essais menés au Mali ont clairement démontré l'efficacité du biopesticide Aflasafe pour réduire de manière substantielle la contamination par l'aflatoxine dans les principales cultures vivrière du pays.

Des résultats similaires ont été obtenus par [3] sur le sorgho, avec une réduction du taux de plus 70% dans les parcelles traitées avec aflasafe. La même efficacité de ce biopesticide a été obtenue par [2] sur les cultures de maïs. Ceci est un atout important pour les agriculteurs et les consommateurs du Mali pour accéder à des céréales de qualité et plus compétitives.

Concernant l'arachide, l'utilisation de l'aflasafe a permis de diviser par 3 le taux d'aflatoxine dans les gousses, ce résultat est confirmé par les travaux de [3] au Mali, Niger et au Burkina Faso. Cette légumineuse est particulièrement sensible à la contamination, et ces résultats soulignent l'intérêt de l'aflasafe pour protéger cette culture importante pour la sécurité alimentaire. Les résultats précédentes évoqués des études antérieures menées sur l'efficacité d'aflasafe dans la région Ouest africaine [4], [2]. De plus des tests récents effectués au Nigeria, autre grand producteur concerné par cette problématique sanitaire, montrent des réductions significatives des taux d'aflatoxine dans l'arachide et le maïs traités avec ce biopesticide développé localement [5].

CONCLUSION

Le biopesticide Aflasafe s'avère être une solution prometteuse et écologiquement responsable pour lutter contre la contamination par l'aflatoxine dans les principales cultures vivrières au Mali.

La gestion de l'aflatoxine de l'arachide, du maïs et du sorgho au Mali est essentielle pour atteindre la sécurité alimentaire et la sécurité sanitaire des aliments. Pour la première fois, nous rapportons des évaluations d'exposition aux aflatoxines sur les 3

cultures au Mali. Le risque d'exposition aux aflatoxines par la consommation alimentaire était élevé dans les quatre régions du pays et particulièrement à Kayes et Koulikoro. Les aliments de base contaminés par l'aflatoxine sont consommés plus fréquemment que les autres cultures, ce qui augmente le risque d'exposition. Les niveaux plus élevés d'aflatoxines dans le maïs et l'apport alimentaire plus élevé de la culture dans le pays constituent un risque plus élevé de HCC pour la population en raison de l'interaction synergique des aflatoxines et du VHB.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Probst, C.; Cotty, P.J. Relationships between in vivo and in vitro aflatoxin production: Reliable prediction of fungal ability to contaminate maize with aflatoxins. *Fungal Biol.* 2012, 116, 503–510.
- [2] Atehnkeng, J.; Ojiambo, P.S.; Ikorun, T.; Sikora, R.A.; Cotty, P.J.; Bandyopadhyay, R. Evaluation of atoxigenic isolates of *Aspergillus flavus* as potential biocontrol agents for aflatoxin in maize. *Food Addit. Contam.-Part A* 2008, 25, 1264–1271. <https://doi.org/10.1080/02652030802112635>.
- [3] Falade, T.; Neya, A.; Bonkoungou, S.; Dagnon, K.; Basso, A.; Senghor, A.L.; Atehnkeng, J.; Ortega-Beltran, A.; Bandyopadhyay, R. Aflatoxin Contamination of Maize, Groundnut, and Sorghum Grown in Burkina Faso, Mali, and Niger and Aflatoxin Exposure Assessment. *Toxins* 2022, 14, 700. <https://doi.org/10.3390/toxins14100700>
- [4] Kitty F. Cardwell 1, * and Sara H. Henry 2. Risk of Exposure to and Mitigation of Effect of Aflatoxin on Human Health: A West African Example. *Journal of Toxicology TOXIN REVIEWS* Vol. 23, Nos. 2 & 3, pp. 217–247, 2004
- [5] Kehinde Sharafadeen Okunade, 2019. Human Papillomavirus and Cervical Cancer. Current Perspectives in Human Papillomavirus. IntechOpen. 2019.

Effet de la Densité de *Acacia Senegal* sur la Fertilité des Sols dans le Cercle de Nioro du Sahel Au Mali

TRAORE Fatoumata^{1*}, BALLO Abdou², DIAWARA Mamadou O¹, Soumana IDRISSE³, KAREMBE Moussa¹

¹Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

² Université des Sciences Sociales et Gestion de Bamako, Mali

³ Institut National de la Recherche Agronomique du Niger

*traorefatouma1985@gmail.com; diaprod@hotmail.com; mkarembe@yahoo.fr

RÉSUMÉ : *L'Acacia senegal* colonise le sahel Occidentale du Mali. C'est une espèce agro forestière qui joue un rôle important dans la vie socioéconomique des populations locales. Dans le contexte du changement climatique on observe une diminution relative de la densité de cette espèce. L'objectif de ce travail est donc d'évaluer l'impact de la densité d'*Acacia senegal* sur la fertilité du sol. L'influence de la densité de *Acacia senegal* (L) Willd sur la fertilité du sol a été étudiée dans les peuplements naturels des trois communes (Gadiaba, Nioro commune et yèrèrè) du cercle de Nioro du Sahel au Mali. Sur la base de 9 placettes de 1000 m², dont 3 (trois) placettes par commune. Le diamètre et la hauteur de tous les individus d'espèces ligneuses ont été mesurés. Pour des espèces adultes à port arbustif la circonférence basale supérieure à 10cm, le diamètre est mesuré à 30 cm du sol et à 1m30 de hauteur. La structure des peuplements d'*Acacia* a été réalisée à partir de la densité à l'hectare, et les classes de diamètres et de hauteur. Les peuplements naturels sont très denses à Gadiaba avec une moyenne de 690 tiges/ha, la densité est moyenne à Nioro commune avec 430 tiges/ha et la densité très faible à Yèrèrè avec 120 tiges/ha. Ce sont des peuplements naturels qui sont très âgés. Les individus juvéniles dont la circonférence est inférieure à 10cm ont été comptés systématiquement et considérés comme régénération. Des prélèvements d'échantillons de sols (9) ont été faits sous peuplement naturel d'*Acacia* (PN) et en hors couvert (HC) et nous avons constitué un échantillon composite de 500g par site. Ces échantillons ont été envoyés au Laboratoire (LSEP) de l'IER de Sotuba pour des analyses complémentaires. Des propriétés physico-chimiques des sols telles que le pH, les C et N totaux et le P assimilable, Ca, Mg et la texture ont été analysés. La teneur en pH demeure très faible sur l'ensemble des trois sites. Il a été mis en évidence deux groupes statistiquement homogènes, par rapport aux caractéristiques du sol comme les teneurs en Mg⁺, sable et limon, entre ces trois groupements végétaux. Cependant, les teneurs en pH, C, MO, N, Ca²⁺, P, CEC, Na⁺, K et autres demeurent faibles dans les sols de ces groupements végétaux.

Mot clés : *Acacia*, fertilité, densité

INTRODUCTION

Les Acacias gommiers sont des légumineuses de la famille des Mimosacées et ont de ce fait la propriété de fixer l'azote atmosphérique. Ils ont ainsi la capacité de reconstituer les sols à la fois grâce à l'abondance de leur biomasse végétale et à leur aptitude à mobiliser l'azote atmosphérique. Il se forme donc un processus cyclique de production, d'absorption et de décomposition d'éléments minéraux qui enrichissent le sol dans l'environnement immédiat de l'arbre, favorisant ainsi le bon développement des cultures (Harmand et al. 1998). Le cercle de Nioro du sahel est une zone de prédilection du gommier, car c'est une espèce dominante et résistante à la variabilité climatique (enquête terrain 2018).

L'A. senegal connaît un essor considérable reconnu car au-delà des avantages environnementaux des plantations naturels contribuent, à la protection des sols contre l'érosion, l'amélioration de la fertilité des sols son système racinaire ramifié et stabilise les dunes et sables mouvants (Dommergues et al, 1994) et la réduction du taux de déforestation, cette plante présente un intérêt économique certain par sa production de gomme (Sall et al 2007).

Il contribue à la fertilisation des sols en apportant

une quantité appréciable d'azote, de protéines et de phosphore grâce notamment aux nodosités. Sous son houppier prospère un abondant tapis herbacé bénéficiant de son apport d'azote et de matières organiques qui renforce l'effet antiérosif des racines de l'arbre. Les détails concernant la quantification de l'apport d'azote par l'espèce et sa contribution au recyclage des éléments chimiques (nitrification) ont fait l'objet d'importants travaux par (Mallet et al 2002 (Bernhard-Reversat, 1987 et 1988 ; Dommergues, 1993) et des études sont en cours au Nord-Cameroun, au Sénégal sur la symbiose à rhizobium permettant à cette espèce de fixer l'azote atmosphérique de façon symbiotique.

Des travaux similaires ont été réalisés dans le Ferlo au Sénégal (Poupon et al 1972-1976 ; Gilfard et al, 1975, Dione, 1996), dans la région du Guéra pour la caractérisation des ligneux à *Acacia senegal* (Ngaryo et al, 2017). Ces travaux ont mis en évidence les augmentations des teneurs en carbone (C) variait entre 0,43 et 0,11 dans la zone, azote (N), cations et phosphore (P) assimilables du sol sous les houppiers et hors arbres, créant des îlots de fertilité, et ils ont prouvé que le transfert d'éléments nutritifs opéré par les racines dans le reste de terres environnantes, bien que faible, permet de restaurer les éléments minéraux

du sol. Au terme de ces résultats les analyses nous révèlent une variation légère de ces éléments chimiques du sol. Il contient peu de substances organiques et une faible teneur en substances Chimiques. La distribution de la végétation est hétérogène en raison de la nature du sol (Soumaré et al, 2004).

Vu l'importance de cet arbre pour la population du sahel et celle de Nioro du sahel cette espèce *Acacia Senegal* peut-elle contribuer à la fertilisation du sol, à la réduction de la pauvreté au Mali. Cette activité de recherche met en évidence la corrélation entre la densité de peuplement d'*Acacia* et la fertilité du sol dans le cercle de Nioro du sahel.

Objectif global

L'objectif global de cette étude est de déterminer l'influence de la densité des peuplements d'*Acacia senegal* sur la fertilité du sol.

Objectifs spécifiques

Pour atteindre l'objectif global nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques suivants :

- Caractériser les formations naturelles d'*Acacia senegal* fonction des sites ;
- Evaluer les paramètres physico-chimiques des sols dans la zone d'étude ;

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

Le matériel végétal de cette étude est *Acacia senegal*/L Willd retrouvé sur place et la carte de présentation de la zone d'étude.

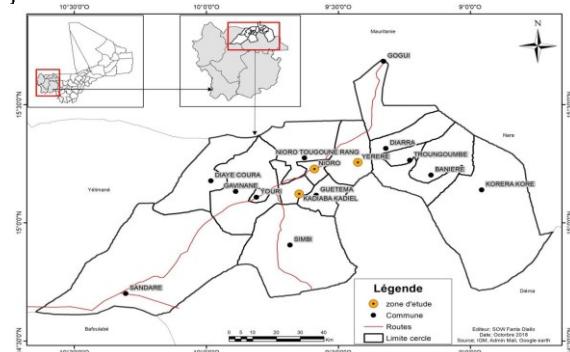


Figure 1 : Carte de la zone d'étude (Traoré F, 2018).

Collecte des données

L'inventaire a été conduit dans des placettes de 1000 m² (10m x 100 m) délimitées dans chaque site. Ainsi un total de 9 placettes réparties entre trois (3) communes (Nioro, Gadiaba et Yérré). Au total 9 échantillons de sols ont été prélevés (sous et hors arbre) dans les trois communes, analysés au laboratoire sol-eau et plante (LSEP) de Sotuba/IER pour déterminer les proportions de carbone, d'azote total, le phosphore assimilable, les bases échangeables.

ANALYSE DES DONNÉES

Le tableau Excel et les logiciels XLSAT 2014 et Minitab 2018 ont été utilisés pour l'analyse de variance (ANOVA) et traitement statistique des données.

RÉSULTATS

Les variables physico-chimiques du sol

Il ressort de l'analyse des variables physico-chimiques et granulométriques (tableau1) qu'il y a trois groupes homogènes au seuil 5%. La différence est significative (S) entre les quatre variables PH(%), C(%) et N(%) et TMO(%). D'une manière générale on dénombre deux groupes homogènes des moyennes (a et b) dans les trois sites et la différence est significative entre les uns PH (%), C (%), N (%) et TMO (%) et très hautement significative entre d'autre Mg2+(%), Sable et limon (%). Le milieu est acide car le PH est de 6,34.

Tableau 1 : illustre le résultat des analyses de sols des trois sites.

Sites	PH(%)	C(%)	C/N(%)	M O(%)	N(%)	P(%)	Mg(%)	Sable (%)	Limon (%)
Gadiaba	6,39±0,07a	0,42±0,09a	4,55±4,02a	0,09±0,01a	0,10±0,01a	3,79±2,74a	0,85±0,01a	55,67±2,31b	41±2a
Korokollo	6,34±1,03b	0,33±0,29a	5,95±0,53a	0,05±0,01b	0,05±0,01b	1,73±1,51a	0,55±0,03b	90,53±4,6a	6,57±3,31b
Nioro	6,04±0,19b	0,11±0,10b	3,36±0,66a	0,04±0,01b	0,04±0,01b	0,21±0,53a	0,56±0,07b	91±7a	7±7b
Moyenne	6,36	0,29	4,62	0,06	0,06	1,91	0,65	78,89	18,22
Probabilité	0,044	0,021	0,456	0,012	0,012	0,133	0	0	0
Signification	S	S	NS	S	S	NS	THS	THS	THS

Caractérisation des formations naturelles à *Acacia Senegal* dans la zone d'étude des sites

Evaluation de la densité de tiges en fonction des sites

La densité moyenne de tiges (N) permet d'évaluer la densité des individus juvéniles et adultes dans chacun des biotopes. Elle est déterminée par le nombre de tiges à l'hectare et s'évalue suivant la formule : $N = n/S$; n est le nombre total inventorié dans le biotope et S l'aire totale échantillonnée.

Les peuplements naturels sont très denses à Gadiaba avec une moyenne de (690 tiges/ha), moyenne à Nioro commune avec (430 tiges/ha) et demeure très faible à Yérré avec (120 tiges/ha). Il résulte de l'analyse des données que la majorité des tiges ligneuses mesurées se trouve dans les quatre premières classes c'est-à-dire la classe 30_50 cm à 90_110 cm et cela dans les trois sites. La densité des peuplements naturels d'*Acacia senegal* varie d'une localité à une l'autre.

La figure 2 nous indique la distribution en classe de circonférence des tiges dans la zone.

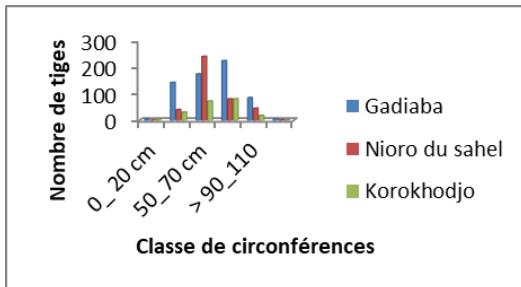


Figure 2 : Répartition des tiges ligneuses par classe de circonférence

4.3. Répartition des tiges ligneuses en classe de hauteur

La distribution des tiges ligneuses par classe de hauteur est apparentée à celle de la classe de circonférence. Elle est caractérisée par une concentration maximale de tiges dans les trois premières classes inférieures (<2m, 2-5m et 5-8m) et cela est valable dans toutes les unités. A cet effet, le nombre d'individus recensé dans la deuxième classe dépasse les 60% de la totalité des tiges mesurées comme l'indique la Figure 3.

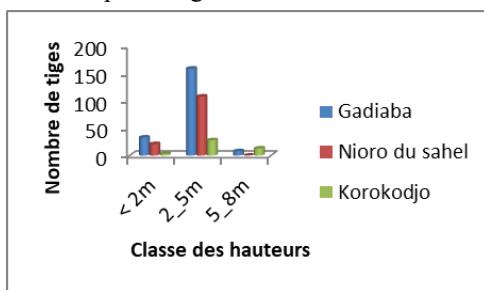


Figure 3: Répartition des tiges en classes de hauteur dans la zone d'étude

DISCUSSION

En ce qui concerne les variables physico-chimiques du sol. Des différences de teneur significatives ont été observées entre les trois sites étudiés. Nos résultats (teneur en C, MO, CEC, N, P) sont similaires à ceux obtenu par Samb, (2010) ; Abdou et al., (2013) dans les villages d'Aité et Somoau Mali. Le pH est compris entre 5,9 et 6,5 considéré comme pH optimal pour la disponibilité des éléments nutritifs du sol et ces résultats corroborent avec ceux de Hieriaux et Le Houeroux(2006) ; Traoré, (2012) dans le Gourma malien. Par contre la texture d'une manière générale, les résultats nous révèlent que le type de sol dominant dans la zone est de type sableux à sablo-limoneux.

La distribution en classe de circonférence et de hauteur nous illustre le sahel avec des individus de petites tailles de diamètre moyen. La classification similaire ont été adoptés par les auteurs Maliens et d'ailleurs Aubreville, (1957); Dembélé (2009); Karembe (2009) et Traoré (2012).

CONCLUSION

Les résultats obtenus sont relatives aux paramètres physico-chimiques du sol en fonction des sites, à la caractérisation de la structure des peuplements d'*Acacia senegal* dans la zone d'étude.

Les teneurs en pH, TMO ou MO, CEC, P et N demeurent très faible sur l'ensemble des trois sites.

La densité variait d'un site à un autre et demeure faible en moyenne on constate une dégradation du couvert végétal de la strate ligneuse. La majorité de tiges inventoriées étaient dominés par des individus de petites et de diamètres moyens.

Il importe de cerner les modes de gestion adoptés de ces ressources par les populations, cette étude mérite d'être répétée sur plusieurs années et même de l'étendre si possible dans d'autres sites ns locales et leurs impacts socio-économiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdou M.M., Zoubeirou A.M., Kadri A., Ambouta J.M.K., Dan Lamso N., 2013. Effet de l'arbre *Acacia senegal* sur la fertilité des sols de gommeraies au Niger. Int. J. Biol. Chem. Sci., 7(6): 2328 2337.
- Aubreville A., 1957. Accord à Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation. Bois et Forêts des Tropiques, n° 51, 23-27.
- Dione M., 1996. Recherches expérimentales sur le gommier *Acacia senegal* dans le Ferlo sénégalais. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, 150p.
- Dommergues Y., 1993. L'atelier sur les symbioses Acacias. Bois et Forêts des Tropiques, 238: 21-34.
- Giffard, 1975. Les gommiers, essences de reboisement pour les régions Sahéliennes BFT n°161, 21 p.
- Harmand J.-M., Mathieu B., Njiti C F. et Ntoupka M., 1998. Recherche sur les possibilités de production de la gomme arabique par *Acacia senegal* (Linn.) Willd dans différentes situations pédoclimatiques du Nord-Cameroun. IRAD, Projet de Diversification des Exportations Agricoles au Cameroun, 21 p.
- Hieriaux P. & Le Houérou H. N., 2006. Les parcours du Sahel. Sécheresse. 17: 51– 71.
- Karembe M., Dembélé F., Maïga M., et Lahbib M., 2009. – Etude de la dynamique de la désertification sur le tronçon Tombouctou-Gao (Mali). Rapport Technique Chaire Unesco pour l'Environnement. ISFRA/UB, Mali, 39p.
- Ngaryo F T., Ngarnougbé C, & Adamou I, 2017. Caractérisation des ligneux de la savane sahélienne à *Acacia senegal* (L.) Willd dans la région du Guéra, Tchad. Int J ApplResearch 3 : 600-606.
- Sall, P.N. (1997). Le gommier et la gomme arabique. Notes techniques du projet RCS-Sahel 1 507/RAF/43.
- Sarr, A., Faye, A., Oihabi, A., Houeibib, M.A.J.O., Neyra, M & Lesueur, D. (2005). Inoculation en station et au champ d'*Acacia senegal* avec des souches sélectionnées de Rhizobium. Bois et forêt des tropiques, 2005, N°283(1).
- Sarr, M. S. (2009). Dynamique et production de gomme arabique de peuplements naturels et d'essaï provenances d'*Acacia senegal*. Thèse 3 cycle en Biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar. 37p.
- Traore F., 2012. Caractérisation de la diversité ligneuse du bassin de la mare d'Agoufou dans le Gourma Malien. Mémoire de DEA en Sciences Biologiques Appliquées. Faculté des Sciences et Techniques de Bamako/ USTTB, 45p.

Contribution de la Production de Tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) sur le Revenu des Exploitations Maraîchères du Cercle de Koutiala

Siaka Drissa TRAORE¹, Urbain DEMBELE¹, Bocar HAMADOU², M'Piè BENGALI³, Kalifa TRAORE³

¹Institut d'Economie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, PSPGRN, Bamako, Mali

²Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou,

³Institut d'Economie Rurale (IER), Direction Générale, Rue Mohamed V, Bamako, Mali

Auteur correspondant : tsiaka96@gmail.com

RESUME : Au Mali sud, le maraîchage constitue une source potentielle et non négligeable pour la sécurité alimentaire et les revenus de la population rurale. La production agricole d'hivernage demeure aléatoire suite aux aléas climatiques et cette situation rend les populations rurales très vulnérables. La production de la tomate en succession avec la pomme de terre est une pratique courante à Koutiala. Pour évaluer la rentabilité de ce système, une étude a été conduite auprès de 77 exploitations familiales dans les communes de Sorobasso, Yognongo et Koutiala dans le cercle de Koutiala. Spécifiquement, l'étude vise à évaluer la contribution de la production de tomate au revenu des exploitants maraîchers dans le cercle de Koutiala. Les principaux acteurs identifiés dans la production de la tomate sont des hommes adultes mariés d'une moyenne d'âge de 40 ans. Ces producteurs sont en majorité illétrés (82 %). Soixante-sept pour cent (67 %) de ces producteurs sont membres d'organisations paysannes.

L'analyse des comptes d'exploitation a montré que les producteurs de Sorobasso ont enregistré un revenu nettement supérieur par rapport aux autres sites. Il est de 3 322 571 F CFA/ha pour les maraîchers de Sorobasso contre 1 236 734 F CFA/ha pour ceux de Yognongo. De même, la marge de sécurité la plus élevée est enregistrée à Sorobasso avec 3 559 399 F CFA/ha et la plus faible à Koutiala avec 1 067 659 F CFA/ha. Suivant le sexe les hommes ont obtenu un revenu de 3 504 664 F CFA/exploitation nettement supérieur à celui des femmes qui est de 2 569 554 F CFA/exploitation. La tomate contribue à 27 % au revenu des exploitants maraîchers dans l'ensemble des sites d'étude. Spécifiquement, la production de la tomate contribue à hauteur de 28 % au revenu des femmes contre 27% pour les hommes. Les profits ainsi générés impactent positivement les conditions de vie des exploitants. La production de la tomate dans ces sites impacte positivement le revenu des maraîchers.

Mots clés : *Exploitants maraîchers, Solanum lycopersicum L., revenu, compte d'exploitation, marge de sécurité, Mali sud.*

ABSTRACT: In southern Mali, market gardening is a potential and significant source of food security and income for the rural population. Winter crop production remains unpredictable due to climatic hazards, which makes rural populations very vulnerable. Tomato production in succession with potatoes is a common practice in Koutiala. To assess the profitability of this system, this study was carried out on 77 family farms in the communes of Sorobasso, Yognongo and Koutiala in the Koutiala cercle. Specifically, the study aimed to assess the contribution of tomato production to the income of market gardeners in the Koutiala cercle. The main players identified in tomato production are married adult men with an average age of 40. The majority of these producers are illiterate (82%). Sixty-seven percent (67%) of these producers are members of farmers' organisations.

Analysis of the operating accounts showed that Sorobasso producers recorded a much higher income than the other sites. Market gardeners in Sorobasso earned 3,322,571 CFA francs per hectare, compared with 1,236,734 CFA francs per hectare in Yognongo. Similarly, the highest safety margin was recorded in Sorobasso at 3,559,399 F CFA/ha and the lowest in Koutiala at 1,067,659 F CFA/ha. By gender, men obtained an income of 3,504,664 F CFA/farm, much higher than women's income of 2,569,554 F CFA/farm. Tomatoes accounted for 27% of market gardeners' income in all the study sites. Specifically, tomato production contributes 28% to women's income, compared with 27% for men. The profits generated have a positive impact on farmers' living conditions. Tomato production at these sites has a positive impact on market gardeners' income.

Keywords: *Market gardeners, Solanum lycopersicum L., income, operating account, safety margin, southern Mali.*

I. INTRODUCTION

Au Mali, l'agriculture occupe une place importante dans l'économie, impliquant 85 % de la population active [1]. Les superficies cultivables s'élèvent à 43,7

millions d'hectares, soit 35 % de la superficie totale du pays. La superficie cultivée est estimée à 2,6 millions d'hectares, soit 2 % de la superficie totale du pays et 6 % de la superficie cultivable [2].

L'agriculture contribue près de 45 % à la formation du produit intérieur brut (PIB) et avec un taux de croissance moyen de 3,6 % par an [2].

De nos jours, le secteur agricole fait face à des contraintes climatiques majeures caractérisées par l'irrégularité dans le temps et l'espace de la pluviométrie qui rendent très vulnérables les systèmes de production [2]. C'est pourquoi, dans le cadre de sa politique de lutte contre la pauvreté et l'insécurité alimentaire et nutritionnelle des populations, une des stratégies prônées par les autorités nationales est la diversification des productions agricoles. Dans le cadre de cette diversification des productions, les cultures maraîchères occupent une place de choix. En effet, les légumes sont des produits alimentaires à haute valeur nutritive et commerciale. Ils jouent non seulement une place importante dans l'économie du pays mais aussi dans l'amélioration et de l'équilibre alimentaire des populations. La tomate est le deuxième légume le plus consommé dans le monde après la pomme de terre, c'est également l'une des cultures les plus répandues avec un volume de production mondiale de 186 821 millions de kilogrammes en 2020 [1]. Cette quantité produite a augmenté de 3,35 % par rapport à l'année 2019. La production de la tomate est destinée à deux marchés principaux à savoir pour la consommation en frais (tomate de marché) et la tomate destinée à la transformation et la conserve (tomate d'industrie).

Le cercle de Koutiala, est une zone de production des cultures maraîchères par excellence, est sollicitée par son climat, la texture du sol et la végétation. Le maraîchage est une activité importante de contre saison dans le cercle. Il fait partie des activités génératrices de revenus des exploitants agricoles. Il est particulièrement apprécié par les femmes et certains jeunes. Une grande partie des besoins du pays en légumes provient du cercle de Koutiala. Dans le cadre du Plan National d'Investissement dans le Secteur Agricole (PNISA) dans le cercle de Koutiala, onze filières ont été choisies dont la tomate. (Source : Revue sectorielle de la région de Sikasso). La tomate est largement cultivée dans la région de Koutiala et constitue une activité génératrice de revenu dans la zone pour subvenir aux besoins des ménages. Cette production contribue de manière significative à l'atteinte de la sécurité alimentaire des ménages à travers l'autoconsommation. La production de la tomate accorde également un statut social et économique à la femme et à l'autonomisation financière de celle-ci à travers le revenu procuré par la vente. Cependant, il existe très peu de données sur la contribution économique de cette filière au revenu des ménages agricoles.

Afin de promouvoir cette filière agricole, la présente étude a été réalisée pour évaluer la

contribution de la tomate au revenu des producteurs maraîchers.

II. MATERIEL ET METHODE

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude de cette recherche est le cercle Koutiala au Mali (12°30' latitude Nord et 8°45' longitude Ouest). Elle a été choisie à cause de son grand bassin de production de tomate

Les communes d'étude sont les zones d'intervention du projet Technologies et Innovations Agricoles pour l'Accroissement de la résilience des Systèmes de Production et des Exploitations Familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre (TARSPro). Au total 3 communes ont été retenues à savoir : Bougourou, Koumbè, N'Goutjina, , Watorosso et wolobougou dans la commune urbaine de Koutiala, Kaziansso, Nizanso et Sorobasso dans la commune rurale de Sorobasso, et Famoussaso et Koumbri dans la commune rurale de Yognogo.

Le choix de ces sites est justifié par l'existence des bas-fonds et leur intensification à travers la production de la pomme de terre. A cela, s'ajoute, la diversification des aliments à travers la consommation de la pomme de terre.

- Présentation des sites d'étude

- La commune rurale de Sorobasso

Sorobasso, chef-lieu de la commune est situé 35 km de Koutiala, chef-lieu du cercle. La Commune de Sorobasso compte une population de 7 528 habitants, dont 3 705 hommes et 3 823 femmes (PDESC, 2010). Elle est composée majoritairement de Minianka. On y trouve également des Peuls, des Bamanans, des Bobos et des Dogons. La Commune est limitée au Nord par les communes rurales de Songo-Doubakoré et de Gouadji-Kao, au Sud par les communes rurales de Logouana et de Yognogo, à l'Est par la commune rurale de Gouadji-Kao et à l'Ouest par la commune rurale de Songo-Doubakoré [3]. La végétation est dominée par la savane arbustive parsemée de hautes herbes. L'agriculture demeure la principale activité de la population. La culture de rente est centrée sur le coton graine, avec une production annuelle moyenne de 1 161 tonnes par an. Quant à la culture vivrière, elle est marquée par le maïs (1 034 tonnes/an), le sorgho (1 420 tonnes/an), le mil (1 945 tonnes/an). Le maraîchage y occupe une place importante. La commune compte 3 502 bovins, 1 100 ovins/caprins, 350 ânes, 5 équins et 50 porcins, 1 400 pintades, 2 200 poulets, 300 pigeons et 80 canards [3]. Les principales contraintes au développement rural de la commune se résument à la difficulté de transformation des produits de cueillette et de céréales pour les femmes, à la dégradation de la

nature, à la pauvreté des sols, à l'insuffisance d'équipements agricoles et au mauvais état des pistes agricoles.

- La commune rurale de Yognogo

La commune de Yognogo est située sur l'axe Koutiala-San et comporte trois villages : Famoussasso (chef-lieu de la commune), Koumbri et Berenianka. Yognogo, qui signifie en langue Minyanka "proximité du point d'eau", a une grande plaine et est traversée par plusieurs marigots. L'ethnie dominante dans la commune est le Minianka qui cohabite avec les peulhs. Les activités principales de la population sont l'agriculture et l'élevage. En 1999, la commune comptait 3 811 habitants répartis entre 281 exploitations agricoles [4]. Environ 6 % des exploitations agricoles ne disposent pas d'équipement agricole tandis que 35 % sont relativement nanties. Les infrastructures socio-économiques de la commune de Yognogo sont une école fondamentale et un marché hebdomadaire, tous à Famoussasso [4]. La commune de Yognogo compte neuf (09) associations villageoises (AV) pour la production agricole.

- La commune urbaine de Koutiala

La commune urbaine de Koutiala, créé en 1996 est situé au Nord-Ouest de la région de Sikasso. Il est limité au Nord par la commune de M'Pèsoba, Yonognoko, au Sud-Ouest par la Kombala, au Sud par la commune de Zangasso et à l'Est par la commune de Koloningué. Il couvre une superficie de 8.740 km² soit 12,17 % de la superficie totale du cercle et 0,7 % de celle de la région de Sikasso [5]. Sa population est estimée à 575 253 habitants pour une densité moyenne de 65 habitants au km² [5].

2.2. Méthodologie

- Collecte de données

La collecte des données a été réalisée à l'aide de questionnaire semi-structuré à travers des interviews individuelles adressées aux producteurs maraîchers.

Les données collectées ont porté en premier lieu sur les caractéristiques socio-démographiques des producteurs (genre, niveau d'instruction, statut d'appartenance à une organisation paysanne, etc.), en second lieu sur l'évaluation des indicateurs de rentabilité ce qui a permis de connaître la part de contribution de la tomate dans le revenu des exploitants maraîchers.

- Echantillonnage

Au niveau des sites de l'étude, l'équipe chargée de la collecte de données a tenu une rencontre formelle avec les autorités villageoises. A la suite des

échanges, la liste des producteurs enquêtés lors de l'étude de base du projet TARSPro a été présentée pour validation. La taille des unités d'enquête a été déterminée à travers l'application de l'équation [6]. L'application de cette équation a permis de sélectionner au hasard 3 producteurs par site et une seule question principale relative à la participation à l'étude de référence du projet TARSPro. Cette première information fut utilisée dans l'équation ci-dessous pour calculer la taille totale (N) des producteurs à enquêter.

$$N = \frac{U_{1-\alpha/2}^2 P [1-P]}{d^2}$$

Où N = nombre total de l'échantillon, U_{1-α/2} est la valeur de la variabilité aléatoire normale pour une valeur de probabilité de α=0,05 ; U_{1-α/2}=1,96 ; P est la proportion de la population qui a répondu oui (P = 0,8) et d c'est la marge d'erreur, et sa valeur a été fixée à 0,02. La détermination de ces paramètres a permis de déterminer la valeur de N estimée à 77 producteurs. Ainsi, pour la détermination de nombre producteurs par commune a été fait au prorata du nombre total de producteurs par rapport à la taille (N= 77) de l'échantillon (tableau 1).

Le choix des producteurs par commune a été fait par tirage aléatoire parmi l'ensemble des producteurs retenus lors de l'étude de référence du projet TARSPro dans chaque commune.

Tableau 1: Nombre de producteurs enquêtés par commune

Communes	Nombre de producteurs
Koutiala	35
Sorobasso	23
Yognogo	19
Total	77

Source : Donnée d'enquête juin-juillet 2023

- Traitement et analyse des données

Les données collectées ont été saisies et analysées avec les logiciels SPSS et Excel. Les résultats ont été présentés en termes de statistique descriptive : moyenne, somme, écart-type, fréquence, etc.

Les coûts variables ont été calculés. Ils représentent le coût des semences, le coût des engrains, le coût des produits phytosanitaires, le coût de la main-d'œuvre salariale et des coûts divers (transport, nourriture des manœuvres agricoles). Le coût variable est déterminé à travers la formule :

$$CV = \sum_i^n Q_i PU_i \quad (1)$$

Avec Q_i la quantité de l'intrant i , PU_i le prix unitaire correspondant à l'intrant i et n le nombre d'intrants utilisé dans la production de la spéulation.

Les indicateurs de rentabilité tels que le produit brut et la marge brute ont été évalués. Tous ces indicateurs ont été ramenés à l'hectare afin de permettre la comparaison des résultats.

Le produit brut en valeur (PBV) correspond au rendement (Rdt) multiplié par le prix unitaire (PU) :

$$\text{PBV} = \text{Rdt} * \text{PU} \quad (2)$$

La marge brute (MB) représente le bénéfice de l'exploitant une fois acquitté de toutes les charges courantes (coûts variables) :

$$\text{MB} = \text{PBV} - \text{CV} \quad (3)$$

Le taux de rentabilité quant à lui est donné par le rapport entre la marge brute et le coût variable engagé dans la production :

$$\text{TR} = \text{MB}/\text{CV} \quad (4)$$

Seuil de Rentabilité en valeur (**SR_valeur**) = $(\text{CF}/\text{CA} - \text{CV}) * \text{CA}$ (5)

Seuil de rentabilité en volume (**SR_vol** = $\text{SR_valeur}/\text{Prix vente unitaire}$) (6)

III. RESULTATS OBTENUS

3.1. Caractéristiques sociodémographiques des exploitants maraîchers

Environ 55,8 % des producteurs enquêtés sont des bénéficiaires des activités du projet TARSPro. Une différence hautement significative a été observée dans le statut des producteurs (bénéficiaires ou non) entre les sites. Les producteurs sont majoritairement des hommes (81 %). La majorité des producteurs n'ont aucun niveau d'instruction formelle. Seulement 5 % sont alphabétisés et 13 % ont un fréquenté l'école formelle (primaire et secondaire). Ces producteurs ayant un niveau d'instruction formelle sont rencontrés majoritairement à Koutiala (20 %). La polygamie est le régime matrimonial dominant (60 %) dans la zone d'étude (tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques sociodémographique des exploitations par site d'étude

Caractéristique	Koutiala		Sorobasso		Yognogo		Ensemble		Chi -Square	df	Asymp. Sig. (2-sided)
	(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)			
Statut											
Bénéficiaire	10	28,6	23	100,0	10	52,6	43	55,8	28,823 ^a	2	0,000***
Non bénéficiaire	25	71,4	0	0,0	9	47,4	34	44,2			
Sexes											
Féminin	8	22,9	5	21,7	2	10,5	15	19,5	1,300 ^a	2	0,522
Masculin	27	77,1	18	78,3	17	89,5	62	80,5			
Niveau d'instruction											
Alphabétisation/coranique	4	11,4	0	0,0	0	0,0	4	5,2	11,434 ^a	6	0,076
Aucun	24	68,6	20	87,0	19	100,0	63	81,8			
Primaire	5	14,3	3	13,0	0	0,0	8	10,4			
Secondaire	2	5,7	0	0,0	0	0,0	2	2,6			
Statut matrimoniale											
Célibataire	0	0,0	2	8,7	0	0,0	2	2,6			
Marié en union monogame	11	31,4	11	47,8	6	31,6	28	36,4	10,560 ^a	6	0,103
Marié en union polygame	24	68,6	9	39,1	13	68,4	46	59,7			
Veuf ou veuve	0	0,0	1	4,3	0	0,0	1	1,3			

- Statut d'appartenance à une organisation paysanne dans les sites d'étude

La majorité des producteurs sont membres d'organisations paysannes (78 %). Ces organisations sont constituées majoritairement par des

groupements/associations (70 %) et des coopératives (30 %). L'agriculture demeure la principale activité de ces organisations (87 %) (tableau 3). Les principales raisons d'adhésion à ces organisations sont l'accès aux intrants, l'accès au marché, l'accès aux formations et aux crédits bancaires.

Tableau 3: Statut d'appartenance à une organisation paysanne et le domaine d'activité

Caractéristique	Koutiala		Sorobasso		Yognogo		Ensemble		Chi -Square	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
	(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)	(n)	(%)			
Etes-vous membre d'une organisation											
Non	10	28,6	6	26,1	1	5,3	17	22,1	4,195 ^a	2	0,123
Oui	25	71,4	17	73,9	18	94,7	60	77,9			
Type d'organisation											
Coopérative	5	20,0	4	23,5	9	50,0	18	30,0	4,958 ^a	2	0,084

Groupement/association	n	20	80,0	13	76,5	9	50,0	42	70,0		
Domaines d'activités de l'organisation											
Agriculture	19	76,0	15	88,2	18	100	52	86,7	5,267 ^a	2	0,072
Social	6	24,0	2	11,8	0	0,0	8	13,3	5,267 ^a	2	0,072

3.2. Caractérisation des variétés de tomate cultivée

- Variétés de tomate cultivée dans les sites d'étude

La variété Cobra est la principale variété de tomate produite (48 %), suivi de la variété Djiguuya 8 %.

D'autres variétés comme Araja F1 et Migoni sont également cultivées respectivement par 7 % et 6 % de producteurs (tableau 4). Une différence hautement significative est observée dans l'utilisation des variétés entre les sites d'étude.

Tableau 4: Variétés de tomate cultivée

Caractéristique	Koutiala		Sorobasso		Yognogo		Ensemble		Chi -Square	df	Asymp. Sig.
	(n)	%	(n)	%	(n)	%	(n)	%			
Nom des variétés											
ARAJA F1	1	2,9	0	0,0	5	26,3	6	6,7			
Boufalé	2	5,7	4	17,4	1	5,3	7	7,8			
Cobra	22	62,9	8	34,8	13	68,4	43	47,8	40,886 ^a	12	0,000***
Djiguuya	6	17,1	1	4,3	0	0,0	7	7,8			
Gros grin	3	8,6	1	4,3	0	0,0	4	4,4			
Migoni	1	2,9	4	17,4	0	0,0	5	5,6			
Quinzi	0	0,0	5	21,7	0	0,0	5	5,6			

3.3. Evaluation des indicateurs de rentabilité de production de la tomate

- Rentabilité de production suivant les sites

Les plus grandes superficies ont été enregistrées à Sorobasso avec 0,40 ha en moyenne par producteur. Le rendement moyen obtenu dans les sites a varié de 5 155 kg/ha à Koutiala à 6 367 kg/ha à Yognogo. Le meilleur prix de vente a été enregistré à Sorobasso (593 FCFA/kg) comparativement à Koutiala avec le plus bas prix (227 FCFA/kg)

Les charges totales de production étant la somme des coûts de semence, de fertilisants et des produits

phytosanitaires ont été calculées. Les producteurs de Sorobasso ont enregistré les charges les plus élevées avec 253 535 F CFA/ha. Cependant, les producteurs de Sorobasso ont obtenu le meilleur revenu net d'exploitation (3 322 571 F CFA/ha) suivi par ceux de Yognogo (1 236 734 F CFA/ha). Par contre, le seuil de rentabilité en valeur est plus élevé à Koutiala (111 691 F CFA/ha) comparativement aux autres sites. Pour chaque 1 F CFA investi dans la production de la tomate procure au moins 8 F CFA dans les sites d'étude.

Tableau 5 : Compte d'exploitation de production de la tomate suivant les sites d'étude

Caractéristiques	Koutiala	Sorobasso	Yognogo	Ensemble	ddl	F	Signification
Superficies moyenne (ha)	0,32	0,40	0,29	0,34	75	1,872	0,161
Rendement moyen (kg/ha)	5 155	6 350	6 367	5 811	75	3,207	0,046
Prix Unitaire de vente (F CFA/kg)	227	593	237	339	75	1,570	0,215
Produit brut en valeur (F CFA/ha)	1 179 350	3 656 446	1 509 237	2 000 662	75	1,859	0,163
Coûts des semences (F CFA/ha)	13 669	20 130	14 768	15 870	75	5,060	0,009
Coûts des fertilisants (F CFA/ha)	44 276	80 391	60 684	59 113	75	1,058	0,352
Coûts des produits phyto (F CFA/ha)	61 860	81 600	36 221	61 430	75	4,850	0,010
Main d'œuvre salariale (F CFA/ha)	77 729	71 413	75 684	75 338	75	0,434	0,649
Totale charges variables (F CFA/ha)	197 534	253 535	187 358	211 750	75	2,276	0,110
Marge brute en valeur (F CFA/ha)	981 816	3 402 911	1 321 879	1 788 912	75	1,748	0,181
Main d'œuvre familiale (F CFA/ha)	58 296	53 560	56 763	56 503	75	0,434	0,649
Revenu brut d'exploitation (F CFA/ha)	923 520	3 349 351	1 265 116	1 732 409	75	1,751	0,181
Amortissement (F CFA/ha)	29 148	26 780	28 382	28 252	75	0,434	0,649
Total charges fixes (F CFA/ha)	87 445	80 340	85 145	84 755	75	0,434	0,649
Charges totales (F CFA/ha)	284 978	333 874	272 503	296 505	75	1,355	0,380
Revenu net d'exploitation (F CFA/ha)	894 372	3 322 571	1 236 734	1 704 157	75	1,752	0,181
TRI	5	13	7	8	75	1,091	0,415
SR en valeur (F CFA/ha)	111 691	97 046	103 093	105 195	75	1,268	0,287
Marge de Sécurité (F CFA/ha)	1 067 659	3 559 399	1 406 144	1 895 467	75	1,870	0,161

- Rentabilité de production suivant le sexe

La superficie moyenne cultivée par les hommes est nettement plus élevée (0,35 ha) que pour les femmes (0,27 ha). Par contre, les femmes ont enregistré un meilleur rendement (6 459 kg/ha) que pour les hommes (5 654 kg/ha). Cela s'explique par le fait que les femmes arrivent à mieux gérer leurs superficies (petites portions de terres octroyées) que les hommes. Cependant, les hommes ont obtenu un meilleur prix de vente de la tomate que les femmes. En effet, les

hommes ont un meilleur accès aux marchés plus rémunérateurs que les femmes. En matière de production maraîchères, plus la superficie est petite plus on arrive à mieux l'exploiter. Par ailleurs le revenu des hommes (1 788 008 F CFA/ha) est nettement supérieur à celui des femmes (1 357 572 FCFA/ha). Comparativement, les femmes ont un seuil de rentabilité supérieur à celui des hommes (tableau 6). Pour que 1 F CFA investi dans la production de la tomate procure respectivement 8 F CFA pour les femmes et hommes.

Tableau 6: Compte d'exploitation de production de la tomate suivant le sexe

Caractéristiques	Féminin	Masculin	Ensemble site	ddl	F	Signification
Superficies moyenne (ha)	0,27	0,35	0,34	75	2,346	0,130
Rendement moyen (kg/ha)	6 459	5 654	5 811	75	1,734	0,192
Prix Unitaire de vente (F CFA/kg)	252	360	339	75	0,204	0,653
Produit brut en valeur (F CFA/ha)	1 622 667	2 092 113	2 000 662	75	0,105	0,747
Coûts des semences (F CFA/ha)	13 733	16 387	15 870	75	1,279	0,262
Coûts des fertilisants (F CFA/ha)	31 267	65 849	59 113	75	1,695	0,197
Coûts des produits phyto (F CFA/ha)	42 587	65 989	61 430	75	2,781	0,100
Main d'œuvre salariale (F CFA/ha)	83 533	73 355	75 338	75	2,009	0,161
Totale charges variables (F CFA/ha)	171 120	221 580	211 750	75	2,355	0,129
Marge brute en valeur (F CFA/ha)	1 451 547	1 870 533	1 788 912	75	0,083	0,774
Main d'œuvre familiale (F CFA/ha)	62 650	55 016	56 503	75	2,009	0,161
Revenu brut d'exploitation (F CFA/ha)	1 388 897	1 815 517	1 732 409	75	0,086	0,771
Amortissement (F CFA/ha)	31 325	27 508	28 252	75	2,009	0,161
Total charges fixes (F CFA/ha)	93 975	82 524	84 755	75	2,009	0,161
Total charges (F CFA/ha)	265 095	304 104	296 505	75	2,182	0,145
Revenu net d'exploitation (F CFA/ha)	1 357 572	1 788 008	1 704 157	75	0,087	0,769
TRI	8,5	8,4	8,4	75	1,219	0,452
SR en valeur (F CFA/ha)	106 413	104 900	105 195	75	0,022	0,882
Marge de Sécurité (F CFA/ha)	1 516 253	1 987 213	1 895 467	75	0,105	0,747

3.4. Analyse des sources de revenus et leur contribution au revenu total des exploitants

- Suivant les sites d'étude

Les revenus des exploitants agricoles des sites d'étude proviennent principalement des activités agricoles et extra-agricoles. Les sources de revenu

des activités agricoles concernent d'une part les revenus issus de la production et commercialisation de la tomate et d'autres part les revenus issus de la vente des autres activités de production (mil/sorgho, maïs, arachide, niébé, coton, animaux sur pieds, lait, viandes, etc.) des exploitants. Les revenus des activités extra-agricoles quant à elles concernent

l'exploitation/transformation des produits forestiers non ligneux ; l'artisanat, l'orpaillage, les transferts d'argent des actifs à l'étranger ou en exode rural, le petit commerce, etc...

Les revenus obtenus ont varié de 2 799 006 F CFA/an pour les exploitants agricoles de Sorobasso à 3 254 664 F CFA/an pour ceux de Yognogo. La

contribution du revenu de production de la tomate a été évaluée à 43 % au revenu des exploitants agricoles dans la commune de Sorobasso et à 21 % et 17 % respectivement à Yognogo et Koutiala. Cette contribution est en moyenne de 27 % au revenu total des exploitants agricoles dans l'ensemble de la zone d'étude (tableau 7).

Tableau 7 : Sources de revenus et leur contribution au revenu globale des exploitations

Sources revenus (FCFA)	Koutiala		Sorobasso		Yognoko		Ensemble	
	Revenu (FCFA)	% RG						
Revenus issus d'autres activités de production agricole (F CFA/an)	2 960 553	56	2 799 006	36	3 254 664	55	3 024 464	48
Prestations agricoles (F CFA/an)	294 850	6	162 308	2	370 000	6	275 719	4
Exploitation/Transformation des produits forestiers non ligneux (F CFA/an)	127 278	2	199 302	3	117 447	2	148 009	2
Arboriculture/Verger (F CFA/an)	72 500	1	284 500	4	66 250	1	141 083	2
Artisanat (F CFA/an)	33 000	1	227 500	3	98 750	2	119 750	2
Commerce (F CFA/an)	80 554	2	150 000	2	63 409	1	97 988	2
Services (F CFA/an)	528 750	10	322 273	4	181 071	3	344 031	6
Orpaillage/Exploitation minière (F CFA/an)	90 000	2	21 667	0	100 000	2	70 556	1
Pensions/Retraites/Salaires (F CFA/an)	68 333	1			50 000	1	59 167	1
Dons/Transferts argent reçus (F CFA.an)	99 000	2	110 000	1	90 263	2	99 754	2
Autres prestations (F CFA/an)	79 643	1	124 412	2	269 000	5	157 685	3
Revenu issus de la tomate (F CFA/an)	894 372	17	3 322	43	1 236	21	1 704	27
Revenu global de l'exploitation FCFA/an	5 328 833	100	571	0	734	0	157	0
			7 723	10	5 897	10	6 242	10
			539	0	588	0	363	0

RG : Revenu global

- Suivant le sexe

Les exploitations dirigées par les hommes ont enregistré un revenu nettement supérieur à celui des

femmes. La production de la tomate contribue à hauteur de 28 % au revenu total des femmes et à 27 % à celui des hommes (tableau 8).

Tableau 8 : Suivant le sexe

Sources revenus (FCFA)	Femme	% RG	Homme	% RG	Ensemble	% RG
Revenus issues d'autres activités de production agricole	2 260 920	43	3 788 008	53	3 024 464	48
Prestations agricoles	181 438	3	370 000	5	275 719	4
Exploitation/Transformation des produits forestiers non ligneux (F CFA/men/an)	178 571	3	117 447	2	148 009	2
Arboriculture/Verger (F CFA/men/an)	48 916	1	233 250	3	141 083	2
Artisanat (F CFA/men/an)	140 750	3	98 750	1	119 750	2
Commerce (F CFA/men/an)	132 567	3	63 409	1	97 988	2
Services (F CFA/men/an)	641 991	12	46 071	1	344 031	6
Orpaillage/Exploitation minière (F CFA/men/an)	11 112	0	130 000	2	70 556	1
Pensions/Retraites/Salaires (F CFA/men/an)	68 334	1	50 000	1	59 167	1
Dons/Transferts d'argent reçus (F CFA/men/an)	109 245	2	90 263	1	99 754	2
Autres prestations (F CFA/men/an)	46 370	1	269 000	4	157 685	3
Revenu Tomate	1 459 840	28	1 948 474	27	1 704 157	27
Revenu total exploitation	5 280 054	100	7 204 672	100	6 242 363	100

RG : Revenu global

IV DISCUSSION

Dans la zone d'étude les hommes sont plus impliqués dans la culture de la tomate (81%) que les femmes. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [7] qui a trouvé que les hommes constituent les

principaux acteurs des cultures maraîchères de marché.

Les revenus élevés obtenus dans la commune de Sorobasso s'explique par le fait que ladite commune est une grande zone de production de tomate comparativement aux autres et la majeure partie de la

production de tomate est destinée à la vente pour générer des revenus.

C'est une production difficilement conservable et son prix subit des fluctuations importantes sur le marché chaque année [8]. Par manque de débouchés nationaux, les producteurs se retrouvent souvent confronter à des problèmes d'écoulement de la tomate ou à vendre à des prix assez faibles imposés par les principaux acheteurs étrangers. Pendant la période de grande maturité de la tomate, le marché est du type oligopsone [9]. Les principaux acheteurs de la tomate conscients de cette réalité imposent à leur avantage les prix et les unités de mesure sur le marché. Dans de telles circonstances, les producteurs sont confrontés à des distorsions de marché les obligeant à brader leurs produits périssables au profit des intermédiaires et des acheteurs. Pour lever cette contrainte, les producteurs et les autres acteurs de développement dans la commercialisation des produits périssables comme la tomate se doivent d'innover dans leur niveau d'organisation. Il convient de relier les producteurs aux marchés afin qu'ils puissent tirer de leurs activités des revenus convenables. L'impact de l'organisation des maraîchers sur la commercialisation des produits se situe au niveau de la réduction des risques économiques liés à la mévente et à la variation du prix aux producteurs. En effet, l'implication des groupements maraîchers, dans la commercialisation rassure les producteurs quant à l'écoulement de leurs productions. Les maraîchers membres de groupements ont la certitude de vendre la tomate à un prix rémunérateur négocié entre le commerçant et les premiers responsables des groupements. [10] affirme que l'union des maraîchers en groupement ou en coopératives permet de réduire les frais d'investissement, mais aussi de contrôler la commercialisation.

La tomate est en grande partie vendue brute à des acheteurs étrangers alors que les concentrés de tomate importés restent présents sur le marché intérieur. Les concentrés de tomate souvent incomestibles, viennent concurrencer et détruire la filière tomate en Afrique [11]. La concurrence des importations peut perturber les producteurs locaux mais elle peut également stimuler le changement et l'innovation visant une productivité accrue au niveau de l'offre domestique et des chaînes d'approvisionnement [1]. Face à cette situation, l'exploration et le développement des débouchés nationaux pour les produits agricoles, notamment maraîchers s'avère plus que nécessaire.

Les résultats ont montré que la production de tomate contribue en moyenne à 27 % au revenu total des producteurs maraîchers. Selon [12], les activités de maraîchage contribuent significativement dans le revenu familial. Quant à [13], les comparaisons en termes de la profondeur de la pauvreté montrent que les ménages maraîchers ont une profondeur de

pauvreté inférieure à celle des ménages non impliqués dans le maraîchage. La pratique du maraîchage permet donc à certaines familles de surmonter la pauvreté. Dans le même sens, les chaînes de valeur des produits maraîchers contribuent à la résilience des populations pauvres en milieu rural [14]. [15], considère que l'approvisionnement des villes en produits alimentaires frais, représente pour les producteurs maraîchers, un débouché croissant de proximité qui diversifie et augmente leurs revenus. Avec ces revenus, les maraîchers assurent de manière directe ou indirecte leurs besoins socioéconomiques. Cette activité contribue aussi de manière significative à l'amélioration de la sécurité alimentaire des ménages à travers l'autoconsommation des produits dérivés de la tomate. En outre, les ménages reconnaissent la nécessité des légumes issus du maraîchage pour équilibrer leur alimentation. Du point de vue genre, la production de la tomate dans les sites accorde également un statut social et économique à la femme. Elle constitue une activité génératrice de revenus pour les femmes en milieu rural et même en milieu urbain. Elle contribue donc à l'autonomisation financière des femmes à travers la commercialisation des productions. [14] a souligné que la pratique du maraîchage a une incidence sur le rôle de la femme dans le ménage. Avec l'accroissement de leurs revenus, les charges familiales des femmes productrices de tomate augmentent de proportionnelle.

V. CONCLUSION

Cette étude a montré que la production de tomate est rentable et contribue à l'amélioration des revenus des producteurs et à la sécurité alimentaire des ménages. Plusieurs variétés de tomate sont produites dont la plus largement cultivée est la variété Cobra. La commune de Sorobasso demeure l'une des grandes zones de production de tomate d'où sa contribution est très importante au revenu des exploitants dans ladite commune. Cette contribution est de 27 % en moyenne au revenu des producteurs dans la zone d'étude. Cependant, les rendements de la tomate demeurent faibles. Sa culture reste confrontée à des contraintes majeures telles que le changement climatique, l'insuffisance d'eau, la baisse de la fertilité des sols, les attaques des parasites/ravageurs, le manque de moyen approprié de stockage et de conservation et les difficultés d'écoulement des produits. Par conséquent, il serait nécessaire de renforcer les capacités de production des exploitants par l'introduction de variétés productives adaptées aux différentes saisons de production, résistantes aux attaques parasitaires et promouvoir le développement des chaînes de valeur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] FAO. (2020), Etude sur la commercialisation des produits maraîchers et céréaliers et identification de nouveaux débouchés dans la région des savanes. Volet 2 : identification de nouveaux débouchés, Version finale.
- [2] Dembélé D, Rapport du séminaire sur la diversification et le développement du secteur en Afrique (Productions Horticoles et Perspectives de Développement), tenue à Bamako-Mali du 13-15 février 2001 ;
- [3] PDESC. 2010. Plan Quinquennal de Développement Economique, Social et Culturel 2010-2014 de la Commune rurale de Sorobasso. Cercle de Koutiala. Région de Sikasso. Mali. 38 p.
- [4] PDESC. 2011. Programme de Développement, Economique, Social et Culturel (2011-2015) de la Commune rurale de Yoyongo Cercle de Koutiala. Région de Sikasso. Mali.
- [5] PDESC. 2013. Plan Quinquennal de Développement Economique, Social et Culturel 2013-2017 de la Commune rurale de Koutiala. Région de Sikasso. Mali. 36 p.
- [6] *Dagnelie, P. (1998)*. Statistique théorique et appliquée. Tome 1: Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique. De Boeck et Larcier, Bruxelles.
- [7] Ouedraogo B., Ouedraogo L. et Kabore O. 2013. Fragmentation de l'espace et conflits d'usage au sahel : cas du bassin versant de Yakouta (Burkina Faso). Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(6): 2727-2739, December 2015.
- [8] FOLEFACK D.P., DJOULDE D.R. (2014), « Les stratégies de commercialisation des produits maraîchers sur le marché de Maroua, au Cameroun ». Agri ape, pp. 22-24. Disponible sur www.iedafrique.org/A-propos-de-ce-site.html. (22/10/2018)MAHRH (Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques). (2007), Analyse de la filière maraîchage au Burkina Faso, Ouagadougou.
- [9] RIPAMA. W. Y. E.B. 2009. Les performances économiques des maraîchers au Burkina Faso : Régression linéaire, Mémoire de master en génie de l'eau et de l'environnement, Ouagadougou, 60Pages
- [10] MALET J.B. (2017), Le film documentaire « L'empire de l'or rouge », en Replay intégral, diffusé le Mardi 13/02/2018 sur France 2.
- [11] FROMAGEOT A., PARENT F., COPPIETERS Y. (2005), « Femmes, cultures maraîchères et recours aux soins en Afrique de l'Ouest », Sciences Sociales et Santé, Vol. 23, n°4, pp. 50- 70.
- [12] THIOMBIAKO B. (2008), Analyse de la contribution des cultures de saison sèche à la lutte contre la pauvreté au Burkina, Mémoire d'ingénieur, Institut du développement rural, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo Dioulasso.
- [13] DA. E.N. (2017), Contribution du maraîchage à la résilience des ménages pauvres ou très pauvres face aux variations pluviométriques : Cas des bénéficiaires des projets BRACED volet maraîchage à Sourï, Kenega et La-Toden, Mémoire de Master II Agrinovia, Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO.
- [14] BOGNINI, 2006, cultures maraîchères dans l'économie des ménages à Réo et à Goundi dans la province du Sangué au Burkina Faso. Mémoire de maîtrise de géographie, Université de Ouagadougou, 87p. Autissier V., 1988. Étude de la culture maraîchère en Afrique centrale et occidentale, 201p

Identification des Menaces qui pèsent sur *Pterocarpus Lucens* dans les Formations Naturelles des Zones Soudano - Sahéliennes et les Stratégies Locales de son Maintien. N'gala Yiri, Baradjè (Malinké), Dabakala-Yiri (Bambara); Gbere (Sénoufo)

Moro Souley SIDIBE¹, Adama KORBO¹, Siaka D TRAORE, Moussa KAREMBE², Haby SANOU², Mohamed KONE¹, Aboubacar TRAORE¹, Fanta KONE¹

¹Institut d'Economie Rurale (IER), de Bamako, Mali

² Université des Sciences des Techniques Technologique (USTTB) de Bamako, Mali

RESUME : Le Mali est un pays d'élevage par excellence, où les populations, toutes ethnies confondues, conservent l'habitude de maintenir dans leurs concessions des animaux. Les fourrages des ligneux comme *Pterocarpus leusens* et *erinaceus* des forêts claires et des savanes arborées d'Afrique, sont très prisés par les éleveurs. En plus, l'espèce *Pterocarpus lucens* est très sollicitée par divers usagers comme les artisans, les menuisiers à cause de son bois, son fourrage, ses vertus socio-culturelles et thérapeutiques. Devant cette diversité d'usagers force est de constater qu'aucune stratégie n'est mise en place pour sa protection, sa promotion par l'homme. De nos jours, *Pterocarpus lucens* subit une menace de disparition à cause de sa surexploitation par l'homme et aussi son assèchement face aux aléas climatiques. Au Sahel, *P. lucens* est gravement menacée suite à l'exploitation intensive des rameaux qui sont vendus comme fourrage dans beaucoup de grandes villes. La présente étude découle de celle qui vient de recenser la perception locale des agro éleveurs sur *pterocarpus lucens* dans les régions de Koutiala, Ségou et Koulikoro. L'objectif général de l'étude c'est de contribuer à connaître la variabilité agro morphologique chez *Pterocarpus lucens*, en vue d'améliorer la production de fourrage à travers des mesures de protections et de promotions. La démarche méthodologique s'est inscrite sur les sites qui ont servi à la caractérisation biophysique in situ de *P. lucens*. Dans chaque village, des focus groups composés de 6 à 12 voire 13 personnes ont été formés. Les populations des différents sites furent organisées en focus selon des critères d'âge et de sexe. Ainsi, on a les groupes d'hommes âgés de 50 ans et plus, les femmes de 50 ans et plus, et les jeunes et adultes de 20 à 49 ans tous genres confondus. Dans chaque village, un minimum de trois focus a été tenu retenu selon la disponibilité. Les débats étaient conduits en Bamanankan. Les entretiens se sont déroulés autour des aspects, l'abondance de *Pterocarpus lucens* dans leur terroir, comment elle est perçue par les communautés, comment se maintient -elle dans les formations naturelles, son utilités etc...

L'espèce est surtout utilisée pour corriger l'insuffisance de la production de lait à Karagana (100% des réponses), à M'Pessoba (67% des réponses). Elle est également utilisée pour le traitement de la diarrhée virale à Faraba (100% des réponses), à M'Pessoba (33% des réponses). La rhino trachéite infectieuse est aussi traitée par la population de Dona avec l'utilisation de *P. lucens* (100% des réponses). Ce sont généralement les feuilles qui sont utilisées.

Au regard de l'importance de l'espèce *Pterocarpus lucens* dans le bien être des communautés rurales du Sahel et de la zone soudanienne, nous avons voulu apporter notre modeste contribution à sa protection, sa promotion et sa valorisation à travers ces suggestions. Et cela en plus de la découverte des causes qui contribuent à sa raréfaction ou à sa disparition dans les terroirs communaux. Ces suggestions sont entre autres : La mise en place de banques fourragères à base de *P. lucens* dans les différentes communes qui abritent nos villages d'études, La Formation des populations locales des communes retenues sur les techniques de régénération des arbres fourragers, La mise en place d'une politique d'assistance et d'accompagnement des communautés communales pour la conservation des fourrages.

Mots clés : Importance socioéconomique, perceptions paysannes, banques fourragères *Pterocarpus lucens*,

SUMMARY: Mali is a livestock-raising country par excellence, where people of all ethnic groups are accustomed to keeping animals on their land. Fodder from woody plants such as *Pterocarpus leusens* and *erinaceus* in the open forests and tree savannas of Africa is highly prized by livestock farmers. In addition, the *Pterocarpus lucens* species is much sought after by various users such as craftsmen and carpenters for its wood, fodder, socio-cultural and therapeutic properties. Given this diversity of users, it is clear that no strategies have been put in place to protect and promote it. Nowadays, *Pterocarpus lucens* is threatened with extinction due to over-exploitation by man and drying out as a result of climatic hazards. In the Sahel, *Pterocarpus lucens* is seriously threatened by intensive exploitation of the twigs, which are sold as fodder in many large towns. This study follows on from the one that has just surveyed local perceptions of *Pterocarpus lucens* among agro-pastoralists i the Koutiala, Ségou and

Koulikoro regions. The general objective of the study is to contribute to knowledge of agro-morphological variability in *Pterocarpus lucens*, with a view to improving fodder production through protection and promotion measures. The methodological approach was based on the sites used for in situ biophysical characterisation of *P. lucens*. In each village, focus groups of 6 to 12 or even 13 people were formed. The populations of the various sites were organised into focus groups according to age and sex. There were groups of men aged 50 and over, women aged 50 and over, and young people and adults aged 20 to 49 of all genders. A minimum of three focus groups were held in each village, depending on availability. The discussions were conducted in Bamanankan. The interviews focused on aspects such as the abundance of *Pterocarpus lucens* in their area, how it is perceived by the communities, how it is maintained in natural formations, its usefulness, etc.

The species is mainly used to correct inadequate milk production in Karagana (100% of responses) and M'Pessoba (67% of responses). It is also used to treat viral diarrhoea in Faraba (100% of responses) and M'Pessoba (33% of responses). Infectious rhinotracheitis is also treated by the Dona population using *P. lucens* (100% of responses). The leaves are generally used.

Given the importance of the *Pterocarpus lucens* species to the well-being of rural communities in the Sahel and Sudan zone, we wanted to make our modest contribution to its protection, promotion and enhancement through these suggestions. In addition to identifying the causes contributing to its rarefaction or disappearance from communal lands. These suggestions include: setting up fodder banks based on *P. lucens* in the various communes that are home to our study villages; training local people in the communes selected in fodder tree regeneration techniques; setting up a policy to assist and support communal communities in fodder conservation.

Key words: *Socio-economic importance, farmers' perceptions, Pterocarpus lucens fodder banks,*

INTRODUCTION

Au Mali, les pâturages constituent la base de l'alimentation des animaux d'élevage. Ces pâturages connaissent au cours des saisons une double fluctuation (qualitative et quantitative) dont la durée et les caractéristiques varient en fonction des zones bioclimatiques.

En zone soudanienne, par exemple, la saison pluvieuse, qui dure de juin à octobre, est caractérisée par des pâturages au fourrage abondant et de bonne qualité. En saison sèche froide (novembre à février), les fourrages restent disponibles en quantité suffisante, mais leur valeur alimentaire devient faible à cause de leur lignification. Pendant la saison sèche chaude (mars à mai), la quantité et la qualité du fourrage disponible dans les pâturages devient très faibles.

En saison sèche, la plupart des pailles de graminées des pâturages tropicaux et certains résidus de céréales sont pauvres en protéines. Pendant cette période, les ressources fourragères ligneuses occupent une place essentielle dans l'alimentation des ruminants. La plupart des espèces fourragères ligneuses conservent en effet des feuilles vertes pendant une bonne partie ou l'entièreté de la saison sèche. De plus, ces feuilles vertes et d'autres organes comme les jeunes rameaux, les inflorescences et les fruits, également prélevés par le bétail, ont des teneurs en nutriments, particulièrement en azote, qui restent élevées durant la saison sèche.

Le Mali est un pays d'élevage par excellence, où les citoyens, toutes ethnies confondues, conservent l'habitude de maintenir dans leurs concessions des animaux (bovins, ovins et caprins), même en ville

[1] [2]. L'alimentation des ruminants domestiques repose sur les pâturages naturels estimés à 35 millions d'hectares et les résidus des cultures [3]. Or, dans les zones périphériques des grandes villes, il est de plus en plus difficile pour le bétail d'accéder aux pâturages naturels dont les superficies s'amenuisent progressivement du fait de l'urbanisation galopante. En effet, le disponible fourrager national était estimé en 2011 à environ 40 millions de tonnes de matières sèches contre 77 millions de tonnes matières sèches en 1987 [2]. Il en résulte une tendance baissière avec une réduction de 47,9 % sur plus de 20 ans tandis que les effectifs en UBT augmentaient de 8,5 millions UBT à 11,3 millions UBT en 2011 [4]. Pour faire face au déficit fourrager et au problème d'approvisionnement en fourrage dans les régions du Mali notamment Koutiala, Ségou et Koulikoro, beaucoup de ces animaux (petits ruminants) sont élevés en stabulation et bénéficient d'attentions particulières de la part de leurs propriétaires. Cette forme d'élevage s'est également fortement développée au cours des dernières années et le recours à l'achat du fourrage devient une nécessité. Compte tenu de l'importance de ce cheptel dans les régions. Vu l'engouement pour les plantes fourragères ligneuses qui fait craindre une intensification des pressions sur celles-ci, la présente étude est initiée. Elle a pour objectif d'identifier les menaces qui pèsent sur *Pterocarpus lucens* dans les formations naturelles des zones soudano-sahélienne.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

- Matériel technique

Pour la réalisation de cette activité, nous avons utilisé :

- Un questionnaire adressé aux cibles de l'étude ;

- Une voiture a permis le déplacement sur les sites ;
- Un ordinateur pour le dépouillement, le traitement et la rédaction du mémoire ;
- Un stylo pour écrire.

- **Le matériel humain suivant :**

- Les agro-éleveurs ;

➤ **Le maire, son adjoint ou Secrétaire général**

- Les chefs de village

Méthodes

L'étude s'est déroulée dans les régions de Koutiala, Ségou et Koulikoro pendant les mois de juin et juillet 2023.

Plusieurs étapes ont marqué la collecte des données sur le terrain (une phase préparatoire, l'élaboration des fiches d'enquêtes, le pré-test du questionnaire, la phase de collecte des données, le dépouillement des données, et une phase d'analyse des données et la rédaction du rapport).

- **Phase préparatoire de l'enquête**

Une recherche documentaire en rapport avec le sujet a été faite. Cette recherche documentaire a été

Tableau 1 : Noms, communes cercles et régions des villages enquêtés

Villages	Communes	Cercles	Régions
Faraba	Mandé	Kati	Koulikoro
Djoulafondou	Siby		
Guélékoro	Sanakoroba		
Kodougouni	Kodougouni	Baraoueli	Ségou
Dona	Cinzana gare		
Dinguékoro	Baraoueli		
Débéla	Zanina	M'Pessoba	Koutiala
Karagana	Karagana		
M'Pessoba	M'Pessoba		

- **Collecte des données sur le terrain**

Dans un premier temps, nous avons pris constat avec les différents autorités (Mairie, service techniques, chefs coutumières etc.) Auxquelles nous expliqué l'objectif de notre recherche et surtout la manière dont nous comptons conduire la recherche. L'enquête s'est déroulée dans les régions de Koulikoro, Koutiala et Ségou. Cette pratique nous a permis d'être en contact directe avec les agro-éleveurs et d'analyser leur vision sur *Pterocarpus lucens* dans leur autonomisation socio-économique.

L'enquête a été réalisée sur la base d'un questionnaire qui était structuré autour des éléments suivants :

- Caractéristiques socio – économiques des interviewés,
- *P. lucens* dans le milieu naturel, ses interactions sur le sol et sur d'autres espèces,
- Les types de sols sur lesquels on le rencontre *P. lucens*,

basée sur la consultation des documents de référence, des articles et revues.

- **Elaboration des fiches d'enquêtes**

Sur la base des objectifs visés par l'étude, une séance de travail a eu lieu pour identifier des questions de recherche relatives à la problématique soulevée par le thème. Ces questions de recherche ont été formulées à partir des variables/indicateurs traduisant les besoins en informations recherchées.

- **Phase de collecte des données**

La collecte des données a eu lieu dans les sites qui ont servi à la caractérisation biophysique *in situ* de *P. lucens* (Tableau 1). Dans chaque village, des focus groups composés de 6 à 12 voire 13 personnes ont été formés. Les populations des différents sites furent organisées en focus selon des critères d'âge et de sexe. Ainsi, on a les groupes d'hommes âgés de 50 ans et plus, les femmes de 50 ans et plus, les jeunes et adultes de 20 à 49 ans tout genre confondu. Dans chaque village, un minimum de trois focus a été retenu selon la disponibilité. Les débats étaient conduits en Bamanankan.

- Rôle et place de *P. lucens* dans l'alimentation du cheptel,
- Rôle et place de *P. lucens* dans la médecine traditionnelle humaine, animale et d'autres vertus économiques et socio-culturelles dans le contexte de la dynamique climatique etc.

- **Analyse et traitement des données**

Cette étape a été faite comme suit :

- ✓ Une création de base de données suite à la collecte des données;
- ✓ Une analyse proprement dite des données avec des logiciels SPSS, Excel et la rédaction a été faite avec Word.

RÉSULTATS

Connaissance sur la pratique de la régénération

La figure 1 présente la connaissance des techniques de régénération de *P. lucens* par les agro-éleveurs. On remarque que les techniques de

régénération sont complètement méconnues des populations de Faraba, Débela, Dingukoro, Dona, Guélékoro et M’Pessoba. Par contre, à Djoulafondou, à Karagana et à Kodougouni (25-33%) connaissent les techniques de régénération de l’espèce. Tous villages confondus, 91% des

répondants ne connaissent pas les techniques de régénération contre 9%.

Par ailleurs, en ce qui concerne les techniques de récoltes des semences ou de production de plants à partir de pépinières de *P. lucens*, la population locale affirme à 100% qu’elle ne connaît pas ces techniques.

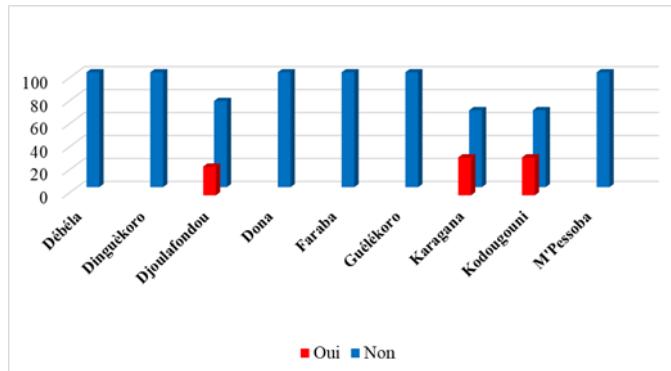


Figure 1 : Pratique de la régénération du *Pterocarpus lucens*

Types des menaces sur *Pterocarpus lucens*

La figure 2 illustre les principales contraintes observées par rapport à la régénération de *Pterocarpus lucens* citées par les agro-éleveurs. Entre 25% (Kodougouni et M’Pessoba) et 67% (Dona) des gens pensent que la principale contrainte à la régénération de l’espèce est liée aux coupes

abusives. Une frange importante à Kodougouni, Djoulafondou (25%), Faraba (50%) pense aussi la principale menace sur la régénération est liée aux feux de brousse. De même d’autres facteurs tels que les défrichements incontrôlés, la faible pluviométrie, la sécheresse et le surpâturage ont été aussi évoqué comme étant des freins à la régénération de l’espèce. Toutes ces contraintes sont soient d’origine anthropique ou climatique.

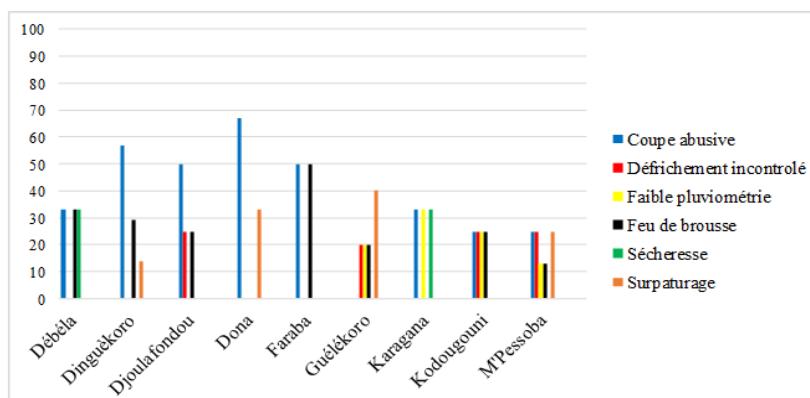


Figure 2 : Contrainte liée à la régénération de *Pterocarpus luce*

Alternatives pour le maintien et la promotion de *P. lucens* dans les formations naturelles des différentes régions.

Face à la menace qui pèse sur *P. lucens* et au regard de son importance dans la vie socioéconomique, des propositions ont été faites par les différentes communautés en de minimiser les menaces (Tableau 2).

Tableau 2 : Les propositions de solutions par les acteurs.

Cercle	Commune	Village	Solution proposées
Kati	Mandé	Faraba	Lutter contre les feux de brousse, Lutter contre la coupe abusive, Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative.
Kati	Siby	Djoulafondou	Lutter contre les feux de brousse ; Lutter contre la coupe abusive ; Réduction du défrichement incontrôlé ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative.
Kati	Sanakoroba	Guélékoro	Lutter contre le surpâturage ; Lutter contre la coupe abusive ; Réduction du défrichement incontrôlé ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Introduire d’autres espèces fourragères

Baraoueli	Kodougouni	Kodougouni	Lutter contre la coupe abusive ; Réduction du défrichement incontrôlé ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Sensibilisation des populations sur le changement climatique
Ségou	Cinzana gare	Dona	Lutter contre la coupe abusive ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Sensibilisation des populations sur le changement climatique ; Lutter contre le surpâturage ; Avoir la bonne gouvernance
Baraoueli	Baraoueli	Dinguékoro	Lutter contre les feux de brousse ; Lutter contre la coupe abusive ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Lutter contre le surpâturage ; Introduire d'autres espèces fourragères
M'Pessoba	Zanina	Débéla	Lutter contre les feux de brousse ; Lutter contre la coupe abusive ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Sensibilisation des populations sur le changement climatique
M'Pessoba	M'Pessoba	Karagana	Renforcement de la capacité des acteurs ; Lutter contre le feu de brousse ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Lutter contre le surpâturage ; Sensibilisation des populations sur le changement climatique
M'Pessoba	M'Pessoba	M'Pessoba	Réduction du défrichement incontrôlé ; Lutter contre les feux de brousse ; Lutter contre la coupe abusive ; Former la population locale sur les techniques des récoltes de semence et la multiplication végétative ; Introduire d'autres espèces ; Application correcte des textes sur la gestion forestière ; Sensibilisation des populations sur le changement climatique

DISCUSSIONS

P. lucens pousse dans les régions semi-arides d'Afrique tropicale ; dans les savanes boisées, les savanes, les forêts de basse altitude, ainsi que sur les collines rocheuses [5]. Cette espèce préfère les sols sablonneux ou latéritiques profonds, à une altitude comprise entre 550 et 1520 m [5] *P. lucens* Taux de croissance non disponible. La floraison ne dure que quelques jours [6]. Les fruits, dispersés par le vent, restent sur l'arbre un long moment après avoir muri. La pollinisation se fait par les abeilles, attirées par les fleurs jaunes. La dispersion par le vent a lieu pendant la saison des pluies. [6]. Pour les espèces très répandues et fortement exploitées telles que *P. erinaceus*, *P. angolensis* et *P. lucens*, les pays de l'aire de répartition ont mené des études pour évaluer la distribution des classes de dimension et qualifier le taux de croissance, notamment au cours des 15 dernières années.

La quasi-totalité de ces études a montré que la distribution des classes de dimension était typique d'une population instable, un indicateur clé de pratiques de prélèvement non durables. Nombre de ces études ont également fait état d'un mauvais taux de recrutement, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des zones protégées. On pense souvent que les zones protégées peuvent être source de métapopulations et assurer la viabilité génétique des espèces, les arbres plus grands et plus matures contribuant à la survie de la population. L'échec du recrutement observé dans un certain nombre de parcs nationaux pour plusieurs espèces de bois de rose est cependant très préoccupant pour la viabilité à long terme de nombreuses menaces.

L'Afrique est un vaste continent qui présente une énorme variété d'habitats. À ce titre, les menaces qui pèsent sur ces derniers sont donc diverses et variées. La surexploitation à destination des marchés locaux et internationaux est un problème très fréquent dans tous les pays de l'aire de répartition, et l'on a observé

une croissance exponentielle du commerce international de bois précieux ces 5 dernières années. La surexploitation du bois d'œuvre a généralement entraîné l'appauvrissement de nombreuses populations locales en Afrique. Cette exploitation met en danger les arbres de grande taille qui ont atteint un diamètre exploitable [7]. Une étude a révélé qu'en Afrique du Sud, dans la Province du Nord, la totalité du bois d'œuvre exploitable aura disparu dans les 30 prochaines années si le taux actuel d'extraction du bois reste inchangé (à 5,6 % par an) [7]. Les grands arbres se font désormais rares, et il n'y aurait pas assez d'arbres de petite taille pour les remplacer, car même des arbres immatures sont abattus pour pallier le manque dans certaines régions (mais pas toutes) [5]. L'effondrement du nombre d'arbres de grande taille limite la quantité de graines produites [6], mais on ne connaît pas encore l'impact que cela aura sur la viabilité potentielle de l'espèce. La région fait face à d'autres menaces, parmi lesquelles la déforestation à grande échelle et la conversion des forêts en terres agricoles ou en zones urbaines. Une grande partie de l'Afrique souffre également de l'aridification causée par le changement climatique, global comme local, et par le surpâturage, ce qui a conduit de nombreux pays à adopter des politiques spécifiques pour lutter contre l'aridification. L'évolution des régimes de feux a également un impact sur le potentiel de recrutement de bien des essences forestières. Les menaces qui pèsent sur les espèces répandues et, plus largement, sur les habitats, exacerbent les menaces que sont l'abattage sélectif des arbres reproducteurs et la déforestation généralisée [6]. Il nous faut être en mesure de comprendre le véritable état des populations, le niveau réel des menaces auxquelles ces espèces sont confrontées, et donc leur capacité à se rétablir à la suite de perturbations, qu'il s'agisse de défrichement sélectif, de déforestation, de feux de

forêt, de maladies ou d'épisodes de sécheresse
Élevage en captivité et reproduction artificielle.

La multiplication des espèces de *Pterocarpus* peut se faire par semis ou par bouturage, et de jeunes plants peuvent être prélevés dans la nature en vue d'être replantés [8]. Les informations relatives à la multiplication artificielle à des fins commerciales sont cependant rares, voire inexistantes.

CONCLUSIONS

Les différentes réponses ont permis de mesurer l'importance de *Pterocarpus lucens* dans la vie socioéconomique des populations de M'Pessoba et de Débela. En effet, en plus de l'utilisation des feuilles comme fourrage pour les animaux, le bois est utilisé pour divers services (bois énergie, bois de service). En outre certaines parties de la plante sont utilisées pour soigner certaines maladies chez l'homme et chez les animaux.

La majorité des réponses ne sont pas reluisantes car *Pterocarpus lucens* connaît une véritable surexploitation et aucune alternative n'est en cours pour son maintien encore moins sa régérence dans les différents sites.

Nous suggérons aux autorités locales coutumières, modernes, aux partenaires d'inscrire dans leur plan de gestions de protections de l'environnement et des ressources une place de choix à l'espèce *Pterocarpus lucens*. Cela ne pourra être possible

qu'à travers une sensibilisation à grande échelle et une mutualisation des efforts.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Anderson J, Bertrand A & Konandji, H.(1994). Le fourrage arboré à Bamako : production et gestion des arbres fourragers, consommation et filière d'approvisionnement. Sécheresse 5 : 99-105;
- [2] MEA (Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement), 2011, Evaluation Environnementale Stratégique Du Développement Rural Au Mali (EES).
- [3] SANTARA I, MAS A, PARISI A, BALIE J. 2013. Analyse des incitations et pénalisations pour la viande au Mali. Série notes techniques, SPAAA, FAO, Rome.
- [4] DNPIA, 2015. Direction Nationale des Productions et des Industries et Animales Rapport annuel d'activités, 94 p.
- [5] Sacande, M., Sanogo, S., & Beentje, H. (2016). Guide d'identification des arbres du Mali. Royal Botanic Gardens.
- [6] N. J. Shackleton et al, 2002. Synchronicity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region
- [7] Yossi H, Kouyaté AM. 2001. Les arbres hors forêts : le cas du Mali. In Les Arbres Hors Forêt : Vers une Meilleure Prise en compte, Bellefontaine R, Petit S, PainOrcet M, Deleporte P, Bertault J-G (ed). FAO : Rome ; 171-177.
- [8] Lemmens, R.H.M.J., (2008). *Pterocarpus lucens* Lepr. ex Guill. & Perr. In: Loupe, D., Oteng-Amoako, A.A. & Brink, M. (Editors)

Perceptions du Rôle et de la Place de *Pterocarpus lucens* dans des Modes d'existence des Agro-Eleveurs des Zones Soudano – Sahéliennes au Mali : Cas des Régions de Koutiala, Ségou et de Koulikoro

Moro Souley SIDIBE¹, Adama KORBO¹, Siaka D TRAORE, Moussa KAREMBE², Haby SANOU², Mohamed KONE¹, Aboubacar TRAORE, Fanta KONE

¹Institut d'Economie Rurale (IER), Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Mali

²Université des Sciences des Techniques Technologique (USTTB) de Bamako, Mali

RESUME: Le Mali est un pays d'élevage par excellence, où les populations, toutes ethnies confondues, conservent l'habitude de maintenir dans leurs concessions des animaux. L'alimentation des ruminants qui repose sur les pâturages naturels et les résidus des cultures est de plus en plus insuffisante. Cependant les fourrages ligneux qui constituent une part importante de l'alimentation des animaux pendant la saison sèche subissent de plus en plus les effets des changements climatiques et des actions de l'homme. C'est dans ce contexte que le projet « Amélioration de la production fourragère à base de *Pterocarpus lucens* pour l'alimentation des animaux dans les zones de Nara et Dily » a été initié à la demande des agro éleveurs des zones de Nara et Dily et par extension à l'ensemble de la zone soudano – sahélienne. Par suite de l'insécurité persistante dans les sites de Nara et Dilly les activités du projet ont été délocalisées sur les zones similaires de Ségou et Koutiala. L'objectif général du projet est de contribuer à connaître la variabilité agro morphologique chez *Pterocarpus lucens*, en vue d'améliorer la production de fourrage. Par suite de l'insécurité permanente dans la zone initiale, Nara et Dily, les activités ont été transférées sur des sites similaires appartenant aux mêmes réalités climatiques et de mode vie des communautés. L'étude vise à déterminer les perceptions des populations sur *Pterocarpus lucens* dans leur vie quotidienne. Pour atteindre cet objectif des enquêtes à travers des focus groups et des entretiens individuels ont été menées dans les régions de : Koulikoro, Koutiala et Ségou, à raison de trois villages par région. Les critères de choix des sites ont été basés sur le fait qu'il y'a pas eu une caractérisation *in situ* sur *Pterocarpus lucens* dans les sites retenus. Les résultats ont permis de comprendre que le fourrage de *Pterocarpus lucens* est largement utilisé dans l'alimentation des animaux dans les localités choisies. L'exploitation est faite par différentes couches sociales et cet aspect permet à certaines franges de la population de générer des revenus à travers la vente de fourrage dont les recettes contribuent à améliorer les conditions de vie dans les familles des acteurs. En plus de son utilisation comme fourrage, selon les populations locales, l'espèce est utilisée pour traiter aussi bien des maladies humaines qu'animales. En outre, son bois est utilisé sous diverses formes comme bois d'énergie, de service ou d'œuvre. Compte tenu de l'importance de l'espèce dans la vie des populations et devant la menace de surexploitation de l'espèce, des mesures de préservation et conservation de l'existant sont nécessaires. Des alternatives sont suggerées afin de maintenir, promouvoir et assurer la durabilité de la ressource *Pterocarpus lucens* dans les terroirs retenus. Le présent résumé est structuré à travers une introduction expliquant le contexte général de l'étude, Une présentation des objectifs de l'étude, une méthodologie, Une présentation des résultats, une discussion et enfin une conclusion assortie de suggestions.

Mots clés : Importance socioéconomique, perceptions paysannes, *Pterocarpus lucens*,

I. INTRODUCTION

La zone sahélienne représente une mosaïque de zones sèches (non appropriées pour la production agricole et utilisées surtout pour le pastoralisme) et de zones plus ou moins humides (où des cultures sèches sont pratiquées). Pendant les saisons des cultures, les bergers déplacent les troupeaux vers les poches sèches (non agricoles); après les récoltes les troupeaux sont autorisés à brouter dans les champs des paysans. Ce phénomène est important car les animaux fertilisent en même temps les sols (Miller 1999). Cependant, des conflits dus à une compétition pour la ressource ont souvent lieu entre éleveurs et cultivateurs (Trench et al. 2007).

Les localités de Dily et de Nara appartiennent à la zone bioclimatique du sahélien sud. En général, dans ces zones, l'élevage fait partie intégrante de l'agriculture et des systèmes de production ; et l'association arbre, culture et animaux représente une composante essentielle des parcs agroforestiers qu'on y rencontre (Boffa 1999). Le paysage est essentiellement constitué par des graminées annuelles et des graminées vivaces. Le peuplement ligneux y est représenté par les Combrétacées, les Capparidacées, les Bombacacées, avec quelques *Pterocarpus*. Plusieurs auteurs ont signalé l'alimentation comme l'une des principales contraintes dans l'élevage des bovins, ovins et caprins en saison sèche (Guerin et al. 1991,

Nantoumé et al. 2014). En général, la valeur fourragère des graminées est moyenne de Juillet à Octobre, et la phytomasse est faible en Juillet. En saison sèche, la valeur fourragère est non seulement basse, mais aussi la disponibilité en paille est très faible. La ration journalière de paille ne permet même pas de couvrir les besoins d'entretiens des animaux (Guerin et al 1991).

En général, les espèces ligneuses fourragères conservent les feuilles vertes pendant une bonne partie de la saison sèche (Hiernaux et al. 1994). Les feuilles de ces espèces sont consommées par les animaux ; cependant leur appétence varie en fonction des espèces car certaines contiennent des teneurs élevées en facteurs anti nutritionnels dont les tanins (Nantoumé et al. 2014). Les Combrétacées qui représentent une proportion importante des ligneux en zone sahélienne, ont une valeur fourragère médiocre et sont peu appétées. En effet, le taux de matières azotées moyen est de l'ordre de 113g/kg de matières sèches, les taux de tanin et de lignine y sont élevés et la digestibilité est faible (Rivière, 1978 ; Koné et al. 1988).

D'autres espèces ligneuses tels que *Pterocarpus erinaceus*, *Pterocarpus lucens*, *Acacia* sp. et *Boscia angustifolia* ont une bonne valeur fourragère et sont très recherchées par le bétail. En effet, les feuilles de *P. lucens* renferment des teneurs élevées en cellulose (33%), en protéine brute (15,4%, en matières grasses (2,4%), en énergie (4544 Kcal/Kg de matières sèches), en calcium (0,89%) et phosphore (0,81%) (Nantoumé et al. 2014).

Malgré l'appétence des feuilles de *Pterocarpus* sp par les animaux, ces espèces se caractérisent par des populations peu nombreuses, et disséminées du fait de la surexploitation par les berger qui pratiquent des mutilations sévères. Ces espèces risquent de disparaître à moyen et à long terme (Wezel and Lykke 2006).

Dans le cadre de l'amélioration et la valorisation des espèces forestières, la recherche a surtout été focalisée sur les espèces fruitières dans un souci d'atteindre la sécurité alimentaire et nutritionnelle de l'Homme et de générer des recettes ; les ligneux fourrageront ont été pendant longtemps négligés. Il devient donc important de se pencher sur l'amélioration de la production fourragère à base de ligneux dans un souci d'améliorer la qualité nutritionnelle des animaux et de générer des revenus pour les producteurs locaux. C'est pour évaluer la perception des producteurs que la présente étude a été initié afin de mettre exèdre les avantages du fourrage à base des ligneux.

II. METHODOLOGIE

Matériel et méthodes

Matériel

- Matériel technique

Pour la réalisation de cette activité, nous avons utilisé :

- Un questionnaire adressé aux cibles de l'étude ;
- Une voiture a permis le déplacement sur les sites ;
- Un ordinateur pour le dépouillement, le traitement et la rédaction du mémoire ;
- Un stylo pour écrire.

- Le matériel humain suivant :

- Les agro-éleveurs ;
- Le maire, son adjoint ou Secrétaire général
- Les chefs de village



Dona



Dinguekoro



Djoulafondou



Djoulafondou

2.1.1. Méthodes

L'étude s'est déroulée dans les régions de Koutiala, Ségou et Koulikoro pendant les mois de juin et juillet 2023.

Plusieurs étapes ont marqué la collecte des données sur le terrain (une phase préparatoire, l'élaboration des fiches d'enquêtes, le pré-test du questionnaire, la phase de collecte des données, le dépouillement des données, et une phase d'analyse des données et la rédaction du rapport).

- Phase préparatoire de l'enquête

Une recherche documentaire en rapport avec le sujet a été faite. Cette recherche documentaire a été basée sur la consultation des documents de référence, des articles et revues.

- Elaboration des fiches d'enquêtes

Sur la base des objectifs visés par l'étude, une séance de travail a eu lieu pour identifier des questions de recherche relatives à la problématique soulevée par le thème. Ces questions de recherche ont été formulées à partir des variables/indicateurs traduisant les besoins en informations recherchées.

- Phase de collecte des données

La collecte des données a eu lieu dans les sites qui ont servi à la caractérisation biophysique *in situ* de *P. lucens* (Tableau 1). Dans chaque village, des focus groups composés de 6 à 12 voire 13 personnes ont été formés. Les populations des différents sites furent organisées en focus selon des critères d'âge et de sexe. Ainsi, on a les groupes d'hommes âgés de 50 ans et plus, les femmes de 50 ans et plus, les jeunes et adultes de 20 à 49 ans tout genre confondu. Dans chaque village, un minimum de trois focus a été retenu selon la disponibilité. Les débats étaient conduits en Bamanankan.

Tableau 1 : Noms, communes cercles et régions des villages enquêtés

Villages	Communes	Cercles	Régions
Faraba	Mandé	Kati	Koulakoro
Djoulafondou	Siby		
Guélékoro	Sanakoroba		
Kodougouni	Kodougouni	Baraoueli	Ségou
Dona	Cinzana gare	Ségou	
Dinguékoro	Baraoueli	Baraoueli	
Débéla	Zanina	M'Pessoba	Koutiala
Karagana	Karagana		
M'Pessoba	M'Pessoba		

- Collecte des données sur le terrain

Dans un premier temps, nous avons pris constat avec les différentes autorités (Mairie, service techniques, chefs coutumières etc.) Auxquelles nous expliqué l'objectif de notre recherche et surtout la manière dont nous comptons conduire la recherche. L'enquête s'est déroulée dans les régions de Koulakoro, Koutiala et Ségou. Cette pratique nous a permis d'être en contact direct avec les agriculteurs et d'analyser leur vision sur *Pterocarpus lucens* dans leur autonomisation socio-économique.

L'enquête a été réalisée sur la base d'un questionnaire qui était structuré autour des éléments suivants :

- Caractéristiques socio – économiques des interviewés,
- *P. lucens* dans le milieu naturel, ses interactions sur le sol et sur d'autres espèces,
- Les types de sols sur lesquels on le rencontre *P. lucens*,
- Rôle et place de *P. lucens* dans l'alimentation du cheptel,
- Rôle et place de *P. lucens* dans la médecine traditionnelle humaine, animale et d'autres vertus économiques et socio-culturelles dans le contexte de la dynamique climatique etc.

- Analyse et traitement des données

Cette étape a été faite comme suit :

- ✓ Une création de base de données suite à la collecte des données;
- ✓ Une analyse proprement dite des données avec des logiciels SPSS, Excel et la rédaction a été faite avec Word.

III. RESULTATS

Impression des enquêtés sur la présence de *P. lucens* dans les terroirs

Les populations enquêtées ont des appréciations différentes sur le niveau de présence de *P. lucens* dans leurs terroirs respectifs. Les appréciations illustrées à travers la figure 8 indiquent que 70% des répondants à M'Pessoba et 67% à Débéla pensent que l'espèce est peu présente dans leur terroir. À Kodougouni et à Dinguékoro, respectivement 67% et 100% pensent que *P. lucens* est moyennement présent dans le terroir, pendant qu'à 67% pensent qu'il est très présent dans les terroirs à Dona, Guélékoro et Faraba. De même 100% des répondants de Karagana pensent aussi que l'espèce est très présente dans le terroir.

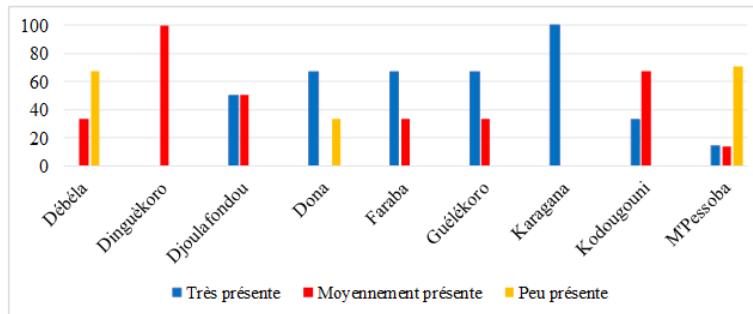


Figure 1 : La présence de l'espèce dans la brousse

Importance de *Pterocarpus lucens* dans le bien-être des populations

- Principaux usages de *P. lucens*

Par rapport aux usages, il ressort que le principal usage est l'alimentation des animaux avec 42% des réponses, ensuite l'utilisation du bois dans d'énergie domestique (36%) et dans la forge (22%). En outre, l'espèce est utilisée pour la confection des miradors, la construction de greniers pour le stockage et la conservation des céréales. L'espèce se retrouve aussi

dans les bois sacrés (Komoyiri, N'tomoyiri ou Mossoyiri etc.).

- Importance de *P. lucens* dans l'alimentation des animaux

Comme aliment des animaux, tous sites confondus, *P. lucens* a été cité comme étant l'espèce fourragère ligneuse la plus appréciée des bovins (Tableau 9). Par rapport à l'alimentation des petits ruminants (ovins et caprins) l'espèce serait le deuxième fourrage le plus apprécié après celui de *Ziziphus mauritiana*.

Tableau 2 : Liste des espèces les plus appréciées par les animaux

Espèces	Nbre de fois citée		Fréquence Totale		Rang	
	Bovin	Ovin/caprin	Bovin	Ovin/caprin	Bovin	Ovin/caprin
<i>Pterocarpus lucens</i>	9	9	30	23	1	2
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	8	8	21	20	2	3
<i>Khaya senegalensis</i>	9	-	19	-	3	-
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	7	8	15	14	4	5
<i>Afzelia africana</i>	2	-	6	-	5	-
<i>Bombax costatum</i>	2	-	6	-	5	-
<i>Terminalia</i>	-	4	-	10	-	4
<i>Ziziphus mauritiana</i>	-	7	-	26	-	1

- Utilisation de *P. lucens* dans la médecine traditionnelle humaine

P. lucens est utilisé dans la médecine traditionnelle pour traiter certaines maladies chez l'homme (Tableau 10). Ainsi à M'Pessoba, 50% des réponses ont indiqué que l'espèce est utilisée dans le traitement des maux de ventre et du paludisme. Également pour le traitement de la typhoïde, 50% des gens à Guélékoro pensent que l'espèce est

efficace contre le maladie des enfants. La même proportion a indiqué le traitement du paludisme. À Karagana, 100% des réponses ont abondé dans le sens que l'espèce est utile dans le renforcement de capacité des enfants. Cependant dans certains villages (Dinguékoré, Djoulafondou, Dona et Kodougouni) aucun usage médico-thérapeutique n'a été signalé. Généralement, les parties utilisées pour les soins sont les feuilles, les écorces et les racines.

Tableau 3 : Maladies humaines traitées par *P. lucens*

CARACTERISTIQUE	Débela	Faraba	Guélékoro	Karagana	M'Pessoba	Ensemble
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Les maux de ventre	-	-	-	-	50	11
La typhoïde	-	-	50	-	-	11
Le paludisme	50	100	50	-	50	56
Renforcer la capacité des enfants	50	-	-	100	-	22

- Utilisation de *P. lucens* dans la médecine traditionnelle animale

Le tableau 11 présente les maladies traitées avec *P. lucens* chez les animaux. L'espèce est surtout utilisée pour corriger l'insuffisance de la production de lait à Karagana (100% des réponses), à

M'Pessoba (67% des réponses). Elle est également utilisée pour le traitement de la diarrhée virale à Faraba (100% des réponses), à M'Pessoba (33% des réponses). La rhinotrachéite infectieuse est aussi traitée par la population de Dona avec l'utilisation de *P. lucens* (100% des réponses). Ce sont généralement les feuilles qui sont utilisées.

Tableau 4 : Maladies animales traitées par *P. lucens*

CARACTERISTIQUE	Dona	Faraba	Karagana	M'Pessoba	Ensemble
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Diarrhée virale	-	100	-	33	33

- *Pterocarpus lucens* dans le flux économique

L'espèce, en dépit de son importance dans l'alimentation des animaux n'entrent pas beaucoup dans le circuit économique dans les villages d'étude, comme illustrée à travers la figure 9. Ainsi dans les villages de Débela, Djoulafondou, Dona, Karagana,

l'espèce ne fait l'objet d'aucune commercialisation. Par contre dans les villages de Faraba, Guélékoro, Kodougouni et M'Pessoba certaines personnes ont affirmé que *P. lucens* est effectivement commercialisé. Le taux des réponses indiquant la vente du fourrage de *P. lucens* a varié entre 29% (M'Pessoba) et 33% (Faraba, Guélékoro, Kodougouni).

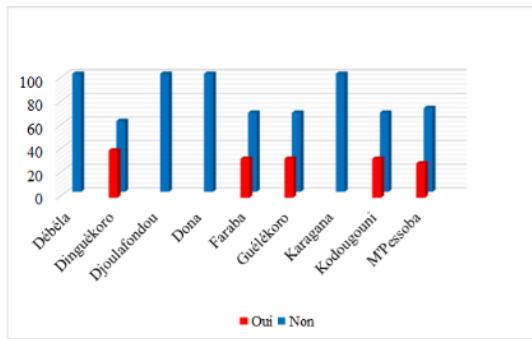


Figure 2: *P. lucens* dans le flux économique

- Période d'utilisation du fourrage

La figure 10 donne les informations sur la période d'utilisation du fourrage de *P. lucens* dans les villages. Il ressort des réponses que l'exploitation du fourrage de *P. lucens* se fait pendant toute l'année selon la disponibilité. Le taux d'utilisation est plus important entre le mois d'avril et juin (47% des réponses). Ensuite 38% des réponses indiquent aussi

l'hivernage est la période de collecte intensive de fourrage de *P. lucens*. Enfin, 16% des répondants ont indiqué que la saison sèche est la collecte intensive de fourrage de *P. lucens*. Toutes les espèces animales notamment les bovins, ovins et caprins y consomment. Dans l'ensemble des villages, tous les exploitants se ravitaillent directement en fourrage à partir des arbres en brousse. Personne n'achète le fourrage de *P. lucens*.

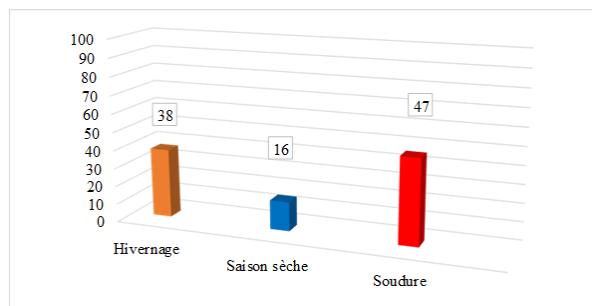


Figure 3: Utilisation du fourrage en fonction des périodes de l'année

- Provenance du fourrage de *Pterocarpus lucens*

Par rapport à la provenance (Fig. 11), le fourrage de *P. lucens* provient soit des formations naturelles

ou des espaces agraires A Djoulafondou et à Dona, le fourrage provient exclusivement de la brousse (100%) des réponses. Dans les autres villages, une proportion importante des répondants (entre 57% et

75%) affirme aussi que le fourrage provient de la brousse. Cependant à M'Pessoba, 60 % des répondants ont affirmé que le fourrage est exploité principalement dans les champs.

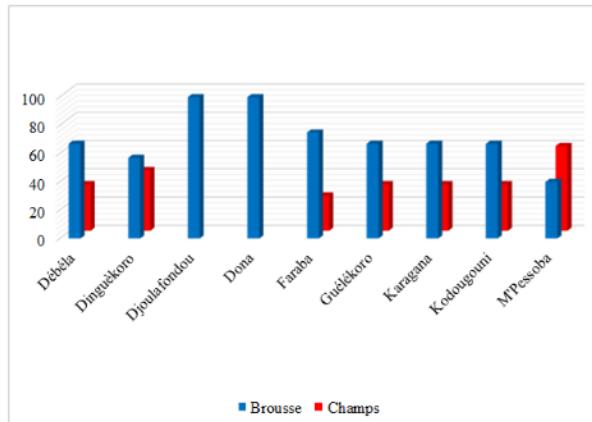


Figure 4 : Provenance du fourrage de *Pterocarpus lucens*

IV. DISCUSSION

Cette étude, réalisée sur la perception locale des agro-éleveurs au Mali, a montré que *Pterocarpus lucens* joue un rôle important dans le bien-être des communautés locales de façon générale. Ces données confirment les données des études réalisées au Burkina Fasso (COUTERON et al, 1992) sur *Pterocarpus lucens* dans la région de Banh sur l'importance pastorale et l'état des peuplements de *P. lucens*. La bonne perception de la population sur l'espèce s'explique par les nombreux bénéfices socio-économiques et esthétiques qui en découlent. Les principaux bénéfices qu'offre l'espèce aux populations sont entre autres son utilisation comme fourrage pour les animaux, bois d'énergie, bois de forge et dans la médecine traditionnelle humaine et animale. Pour cette fin divers organes de l'arbre sont utilisés tels que les feuilles, l'écorce, les racines, le bois.

Concernant l'importance économique, la vente du fourrage de *Pterocarpus lucens* constitue pour certaines personnes une source importante de génération de revenus. Cependant, l'étude a montré que dans les villages enquêtés peu de gens s'adonne à la vente de fourrage de *P. lucens*, cela s'explique clairement par le fait que la plupart des exploitant/vendeurs de fourrage n'ont généralement pas de lien social avec les terroirs villageois exploités (DIALLO et al, 2019). Une étude sur la filière de fourrages ligneux dans le district de Bamako a rapporté que la commercialisation du fourrage ligneux (dont *P. lucens*) est une activité bien rentable (DIALLO et al, 2019).

Du fait de cette importance dans la vie socioéconomique des populations surtout l'utilisation comme fourrage pour les animaux combinés à l'accroissement des effectifs des animaux, les menaces sont de plus en plus

croissantes sur l'espèce. Du coup les résultats de cette étude ont démontré que de grosses menaces pèsent sur la régénération qui se traduit par une diminution croissante des peuplements de *Pterocarpus lucens* dans les zones de l'étude. Cette situation est accentuée aussi par la non connaissance par les populations des techniques de multiplication (LE HOUEROU, 1980 ; MEA, 2011). Selon DIALLO et al, (2019), l'exploitation de fourrage ligneux pour le commerce en ville s'effectue généralement de manière destructrice car les exploitants du fourrage ligneux n'étant ni informés, ni encadrés et formés provoquent souvent la mort des arbres par leurs pratiques non durables d'exploitation des espèces fourragères.

Pour renverser la tendance, des mesures d'interdiction de la coupe du bois de *Pterocarpus lucens* et de la fabrication du charbon de bois avaient été prises par le gouvernement Burkinabé ; ces mesures ont eu comme effet, la régénération du couvert végétal, surtout en milieu rural et la pression sur les ressources forestières a sensiblement diminué suite aux actions de répression de la brigade mixte de surveillance et de protection de la nature mise en place à cet effet (LE HOUEROU, 1980). En outre, DIALLO et al, (2019) ont proposé entre autres l'intensification des actions de contrôle, l'organisation des exploitants en association professionnelles, l'aménagement des forêts de production et l'établissement de contrat de gestions les exploitants et l'Etat. D'autre part, des actions complémentaires telles que la lutte contre le défrichement incontrôlé, les feux de brousse, les coupes abusives, la formation des populations locale sur les techniques de production de plants à partir des graines et la multiplication végétative, l'introduction d'autres espèces fourragères telles que : *Gliricidia sepium*, *Digitaria lecardii*, *Oryza breviligulata* (Malosina), la sensibilisation des populations sur le

changement climatique. Ce dernier point est a été rapporté comme une des causes de la mortalité de *P. lucens* au Burkina par HIEN (2000).

V. CONCLUSION

Des résultats, nous pouvons retenir que nos objectifs ont été atteints par rapport à l'échelle et la structuration de la problématique. En effet, les différentes réponses ont permis de mesurer l'importance de *Pterocarpus lucens* dans la vie socioéconomique des populations de tous les villages enquêtés. En plus de l'utilisation des feuilles comme fourrage pour les animaux, le bois est utilisé pour divers services (bois énergie, bois de forge). En outre certaines parties de la plante sont utilisées pour soigner certaines maladies chez l'homme et chez les animaux.

La majorité des réponses ne sont pas reluisantes car *Pterocarpus lucens* connaît une véritable surexploitation et aucune alternative n'est en cours pour son maintien encore moins sa multiplication dans les différents sites.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Miller, JB. (1999). The feasibility of agroforestry interventions for traditionally nomadic pastoral. *Agriculture and Human Values* 16: 11-27.
- [2] Trench, P.; Rowley, J.; Diarra, M.; Sano, F. and Boubacar, K. (2007). Beyond any drought; - root causes of cronic vulnerability in the Sahel. *Africa Focus Bulletin*. International Institute for Environment and development (iied).
- [3] BOFFA, J.M. 1999. Systèmes de parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne : Guide de conservation de la FAO 34. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- [4] NANTOUME. H, CISSE.S, SOW.P.S., SIDIBE. S, KOURIBA. A, OLIVIER.A, J. BONNEVILLE & D. CINQ-MARS., 2018, « Impact de rations comportant des fourrages de *Pterocarpus lucens*, *Pterocarpus erinaceus* et *Ficus gnaphalocarpa* sur l'embouche bovins, caprins et ovins au Mali », *Tropicultura* [En ligne], Volume 36, Numéro 4, 673-683 URL : <https://popups.uliege.be/2295-8010/index.php?id=400>.
- [5] HIERNAUX et al. 1994 Chapitre 8. La contrainte fourragère des élevages pastoraux et agropastoraux du Sahel.
- [6] Rivière, R., (1978). Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. 2nd Edition. Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, Paris, France. 527 pp.
- [7] Koné A. R. Guérin H., Richard D. (1988). Contribution à la mise au point d'une méthode d'étude de la valeur nutritive des fourrages ligneux. Séminaire régional sur les fourrages et l'alimentation des ruminants, IRZ/ IEMVT, N'Gaoundéré Cameroun. Etudes et Synthèses de l'IEMVT, 30: 789-809.
- [8] WEZEL and LYKKE 2006. Changement de la végétation ligneuse en Afrique de l'Ouest sahélienne : preuves issues des connaissances locales. Environnement, développement-et-durabilité, 8, 553-567. <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9055-2>
- [9] COUTERON P., AQUINO P., OUEDRAGO I. M.O., 1992. *Pterocarpus lucens* dans la région de banh. Importance pastorale et état des peuplements. Revue EMVT, 45(2) : 179-190.
- [10] DIALLO H., DIALLO S., MAIGA Y., 2019, Etude de la filière fourrages ligneux dans le district de Bamako GSJ: Volume 7, Issue 9, Online: ISSN 2320-9186 www.globalscientificjournal.com.
- [11] HOUEROU H. N. ; 1980. Le rôle des ligneux fourragères dans la zone sahélienne et soudanienne. In LE HOUEROU H. N. éd. ; les fourrages ligneux en Afrique. Etat actuel des connaissances. Adis Abeba, ILCA, pp. 85-101.
- [12] MEA (Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement), 2011, Evaluation Environnementale Stratégique Du Développement Rural Au Mali (EES).
- [13] HIEN M.B. 2000 l'étude des causes de mortalité de *Pterocarpus lucens* dans la zone subsahélienne de Burkina FASO

BIOLOGIE, BIOTECHNOLOGIE, BIOCHIMIE, MICROBIOLOGIE

Prévalence de Salmonelle dans les Œufs de consommation issus des Elevages Moderne, Industriel, et Semi-Industriel

Fanta Kaba CAMARA^{1,3*}, Aïssé BAH³, Ousmane DIARRA^{2,3}, Bakary DIARRA¹, Mahamoud CAMARA¹, Boubacar Madio dit Aladiogo MAIGA⁴, Christiane DEMBELE⁴, Atia TRAORE³, Sognan DAO³, Abdoulaye Zie KONE⁵, Adougnia KASSOGUE³, Fassé SAMAKE^{2,3}, Amadou Hamadoun BABANA³

¹Institut National de Santé Publique (INSP), Département National de la Sécurité Sanitaire des Aliments (DNSSA)

² Institut des Sciences Appliquées (ISA)

³ Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (LaboREM-Biotech), Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, Techniques et Technologies de Bamako.

⁴Laboratoire Vétérinaire Central (LCV)

⁵Direction nationale des services vétérinaires (DNSV)

*fantakaba61@yahoo.com

RÉSUMÉ : Les bactéries du genre *Salmonella* se sont révélées être l'une des principales maladies d'origine alimentaire dans le monde entier, avec de graves conséquences pour la santé humaine et animale. Au Mali la propagation de ce germe à partir des œufs de volaille est considérée comme une source majeure de la fièvre typhoïde. Actuellement, l'intensification de la production animale a été favorisée par l'usage des médicaments vétérinaires, en particulier les antibiotiques. L'objectif de cette étude était d'évaluer la prévalence de salmonelles isolées à partir des échantillons d'œufs collectés sur les différents sites de l'étude. Les échantillons prélevés étaient aux nombres de cent cinquante-huit (158 œufs) à Bamako et dans les zones péri-urbaines. Les zones périurbaines alimentent Bamako en denrées d'origine animales, notamment en œufs. L'analyse microbiologique des œufs prélevés a été effectuée selon les normes ISO 6579-1 :2017 en utilisant le milieu de culture Rappaport Vassiliadis pour l'enrichissement et la gélose *Salmonella Shigella* (SS) pour l'identification des salmonelles. Les résultats de la densité ont montré que 8,86 % des œufs ont flotté à la surface de la solution saline et les analyses microbiologiques ont montré que la présence des Salmonelle dans 08 des 158 échantillons d'œufs, soit une prévalence de 5,06 %. Ce pourcentage faible pourrait s'expliquer par l'utilisation abusive des antibiotiques dans l'élevage des volailles. Des études avec des méthodes quantitatives plus poussées devraient être conduites pour identifier la nature des antibiotiques présents dans ces denrées, ainsi que pour en quantifier les teneurs.

Mots-clés : *Salmonelle*, *Résidus d'antibiotiques*, *Œufs*, *Volailles*.

INTRODUCTION

Le Mali est un vaste pays sahélo-saharien à vocation agropastorale, situé au cœur de l'Afrique occidentale avec un cheptel national estimé à 38 587 450 volailles dont 2 757 313 pondeuses mises en place sur une prévision de 2 628 000 soit 104,91% des objectifs de production ; et 441 079 208 œufs produits sur une prévision de 467 000 000 soit 94,43% des objectifs de production (DNPIA, 2015). Cependant, cette filière est confrontée à une série de potentiels contaminants comme les microorganismes, les résidus de pesticides et d'antibiotiques. En Afrique de l'Ouest, seuls les agents microbiens pathogènes, les résidus de pesticides et les aflatoxines ont fait l'objet de travaux ou d'études dans le cadre d'une démarche de protection de la qualité sanitaire des aliments destinés à la consommation humaine et animale (Mensah et al. 2014 ; Koné, 2015 ; Diarra et al., 2017 ; Dembélé et al., 2020 ; Coulibaly et al., 2022 et ; Keita et al, 2023 ; Konate et al., 2023). Ces dangers ont été les plus relatés comme menaçant la santé publique (Mensah et al., 2014). Les maladies d'origine alimentaire sont une cause importante de morbidité dans le monde. Des millions de personnes

tombent malades et un grand nombre d'entre elles décèdent après avoir ingéré des aliments impropre à la consommation. Fortement préoccupés par ce problème, les États Membres de l'OMS ont adopté en 2000 une résolution reconnaissant que la sécurité sanitaire des aliments est un aspect essentiel de la santé publique. Dans les pays industrialisés, elle est devenue une demande exigée par les consommateurs, et surtout un enjeu sanitaire majeur, comme en témoigne la dernière crise sanitaire qui est survenue en juin 2011 dans certains pays d'Europe. Cette alerte sanitaire était liée à la présence d'une bactérie dénommée *Escherichia coli*, sérotype STEC O104 :H4 ayant causé 31 décès parmi les 3000 cas qui sont tombés malades à travers les 14 pays d'Europe touchés. Parmi ces pathogènes alimentaires zoonotiques, *Salmonella* est la seconde cause de ces toxico-infections alimentaires bactériennes en Europe et dans le monde. Elle provoque chez l'homme des symptômes d'un large éventail de sévérité, allant de légers maux de ventres jusqu'à la septicémie, et dans certains cas, elles engendrent la mort. En effet, chaque année, 93,8 millions de cas humains sont signalés partout dans le monde, entraînant 155 000 décès. Un large éventail d'animaux, particulièrement

les animaux de rente ont été identifiés comme des réservoirs de *Salmonella* non typhoïdiques.

L'augmentation des toxi-infections alimentaires dans le monde, a poussé certains scientifiques à investiguer sur ces causes dans les œufs et la viande de volaille consommées. Aussi, l'objectif de cette étude est d'évaluer les risques sanitaires liés à la présence de salmonelles.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel biologique :

Le matériel biologique de cette étude est constitué d'échantillons d'œufs de poule.

Site et échantillonnage :



Figure 1: Echantillons d'œufs frais prêts pour les analyses de laboratoire

Echantillonnage:

La présente étude s'articule autour de deux volets, une enquête réalisée auprès de fermiers afin de décrire les principales molécules d'antibiotiques utilisées en élevage des volailles dans les zones péri-urbaines de Bamako. Les enquêtes ont été menées dans 22 fermes dans les communes de : Sanakoroba, Banamba, Safo, Kalabancoro, Kambila, Commune I en novembre 2019. A cet effet, nous avons formé une seule équipe qui a réalisé l'enquête et l'échantillonnage. Des formations en outils et les mesures d'hygiène ont été respectées pour éviter toute contamination et l'altération des produits. Au total 158 échantillons des œufs ont été collectés dans 22 fermes. Les échantillons ont été prélevés sur place dans les alvéoles en plastique, ensuite recouvertes de papier aluminium pour éviter les contaminations externes, acheminés le même jour au Labo REM Biotech pour les analyses microbiologiques et ceux destinés au dosage des antibiotiques ont été conservés à 4 degré Celsius.

Analyses au laboratoire :

Contrôle densimétrique :

Les œufs ont été plongés dans l'eau salée à 12% NaCl (**Olivier, 2007**) afin de voir l'état des œufs pendant une minute. Les œufs flottants ont été écartés de l'analyse microbiologique.

Préparation et mise en culture des échantillons :

Les œufs entiers n'ayant pas flottés ont été ouverts aseptiquement : après lavage rapide à l'eau, et à l'alcool. Les coquilles ont été ouvertes à l'aide du scalpel stérile. Le contenu des œufs a été prélevé à

l'aide d'une pipette stérile et directement versé dans un tube Falcon stérile de 50ml et homogénéisé pendant 15 minutes à côté du Bec Bunsen (Solution 1) ;

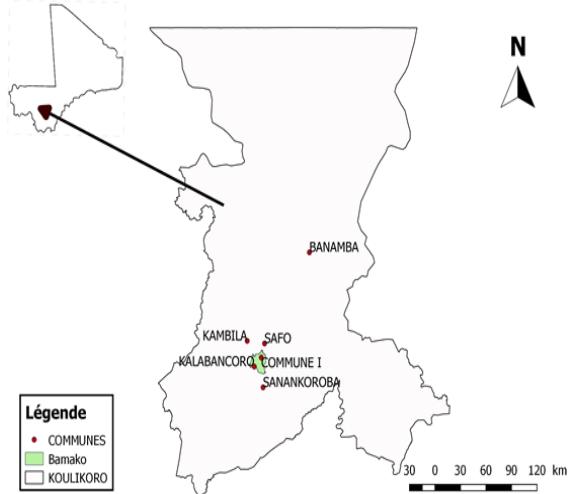


Figure 2 : Les zones et sites de l'étude

Pré Enrichissement :

Addition de 25 ml de la solution 1 avec 225 ml d'eau peptone tamponnée. Bien homogeniser et l'incuber à 37 °C pendant 24h (Solution 2)

Enrichissement :

1 ml de la solution de pré-enrichissement (Solution 2) a été transféré dans les tubes contenant le milieu Rappaport Vassiliadis et incubé à 37°C pendant 24 heures (Solution 3).

Isolement et caractérisations biochimiques :

L'analyse de la diversité de bactérie du genre *Salmonella* sp. a été effectuée à partir des différents échantillons d'œufs contenu dans le milieu du bouillon rappaport Vassiliadis (Solution 3). Les différents échantillons ont été ensemencés sur la gélose *Salmonella Shigella* (SS), puis incubés à 37°C pendant 24 heures. La gélose SS est un milieu solide sélectif pour l'isolement des *Salmonella* et *Shigella*. Après 24 heures d'incubation les colonies présomptives se présentent le plus souvent en lactose négatif et sulfure d'hydrogène positif (colonies incolores à centre noir). Ces colonies suspectes ont été repiquées sur la gélose Trypticase Soja Agar (TSA) pour l'obtention de cultures pures.

Caractérisations biochimiques :

Salmonella spp a été caractérisée par l'utilisation du portoir réduit **Minor** qui comprend les milieux : KLIGER-HAJNA, Citrate de Simmons, la Lysine de Fer, Urée-Indole et le milieu Mannitol-mobilité-nitrate. Les bactéries ayant présenté les caractères suivants ont été retenus : fermentation du glucose avec production de gaz, production d'hydrogène sulfureux, utilisation du citrate comme seule source de carbone, présence d'une lysine désaminase, absence d'une uréase active en 24 heures.

ANALYSES STATISTIQUES

Le Logiciel SPSS version 20.0 a été utilisé pour

toutes les analyses et les différences ont été considérées comme significatives lorsque $p < 0,05$.

RESULTATS : CONTROLE DENSIMETRIQUE

La densimétrie appliquée aux 158 œufs de ferme a donné les résultats respectivement dans le tableau ci-dessus.

Les résultats de la densimétrie montrent que 8,86% des œufs flottent à la surface de la solution saline donc ne sont pas frais. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux obtenus par Somboro *et al* (2017) qui ont obtenus 2,77 %. Il reste inférieur aux résultats de Saidou en 2005 qui a obtenu respectivement 91,25%, et 100% des œufs qui flottent à la surface de la solution saline. Ces différences pourraient s'expliquer d'une part, par le temps de stockage et d'autre part, par l'augmentation de la chambre à air des œufs entraînant une diminution de leur densité par rapport à celle de la solution.

Tableau 1: Densimétrie des échantillons d'œufs dans la solution saline à 12 %

Paramètres	Œufs Frais	Œufs non Frais	Total
Nombre	144	14	158
Pourcentage	91,13(%)	8,86(%)	100(%)

Les résultats du tableau II montre que dans les élevages enquêtés au Mali durant notre étude, nous remarquons une importante utilisation des compléments vitaminiques par rapport aux antibiotiques ; ainsi Aminovit est le complément vitaminique le plus utilisé avec une fréquence d'utilisation de 35 %, suivi respectivement de l'antiobiotique TTS (27,5%), Tylodox (22,5%), Enrofloxacine (17,5%), Cunicole (12,5%), Panteryl



Figure 3 : Résultats du test densimétrique montrant les œufs non flottants (A)

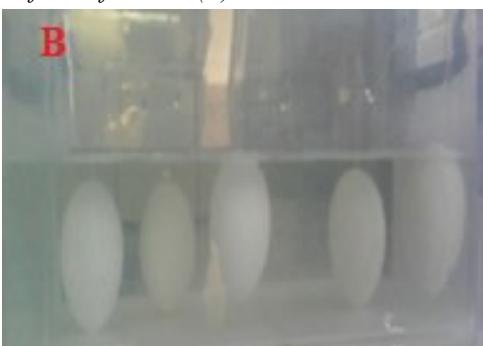


Figure 4 : Résultats du test densimétrique montrant les œufs flottants (B)

Tableau 2 : Fréquence des médicaments utilisés dans les élevages enquêtés

Antibiotiques	Nombre	Fréquence %
TTS	11	27,5
Oxyferan	05	12,5
Enrofloxacine	07	17,5
Tylodox	09	22,5
Tetracycline	3	7,5
Cunicole	5	12,5
Panteryl	5	12,5
Tetracolivite	2	5
Norfloxacine	1	2,5
Carnitol	10	25
Promotol	3	7,5
Doxycycline	3	7,5
Top_ceryl	1	2,5
Aprolum	3	7,5
Aminovit	14	35

(12,5%). Les antibiotiques Tétracycline et Doxycycline qui étaient plus utilisés dans les élevages commencent à être abandonner avec des fréquences de (7,5 %). Enfin le complément vitaminique Top ceryl et l'antibiotique Norfloxacine ont une fréquence d'utilisation de (2,5%).

Préparation et mise en culture des échantillons :

Pré Enrichissement :

Après 24 heures d'incubations à 37 °C un virage a été observé avec l'augmentation de la turbidité dans les flacons contenant les échantillons des œufs cependant aucun phénomène n'a été observé dans le flacon témoin voir figure 3 ci-dessous.

Enrichissement :

Après 24 heures d'incubations à 37 °C un virage a été observé avec l'augmentation de la turbidité dans les tubes contenant les échantillons pré enrichis des œufs cependant aucun phénomène n'a été observé dans le tube témoin voir figure 4 ci-dessous.

Isolement et caractérisation :

Dans la présente étude 158 œufs de poules ont été examinés pour l'isolement et caractérisations biochimiques de *Salmonella sp*. Le tableau II montre une prévalence de Salmonelles de 5,06 % des œufs qui sont contaminés par 93,94 % des œufs analysés négatifs aux Salmonelles. Cette prévalence de Salmonelle pourrait être interprétée par l'utilisation abusive des antibiotiques d'une part et d'autres parts par la présence de Salmonelle dans les élevages, qui s'expliquerait par le non-respect des bonnes pratiques d'élevages. Les résultats de la distribution et conformité des échantillons des œufs des différentes communes et sites sont consignés dans le tableau III ci-dessous. Salmonelle et Les résultats du tableau III montrent un taux de conformité de 100 % dans les communes de SANAKOROBA, SAFO, KAMBILA et la COMMUNE I tandis que dans la commune de BANAMBA, le site de TOUMBA COURA a présenté un taux de conformité de 80 % soit quatre

(04) échantillons contaminés sur les vingt (20). La commune de KALANBAN CORO a présenté un taux de conformité de 42,86 %. Ces taux pourraient s'expliquer par l'utilisation abusive des antibiotiques dans les élevages et le non-respect des bonnes pratiques d'élevages



Figure 5 : Solution 2 avant incubation



Figure 6 : Solution 2 après incubation



Figure 7 : Solution 3 avant incubation



Figure 8: Solution 3 après incubation

Tableau 3 : Prévalence des Salmonelles dans les échantillons d'œufs analysés

Échantillons analysés	Résultats de recherche des salmonelles			
	Positif		Négatif	
	Nombre	Pourcentage	Nbre	%
158	08	5,06	150	93,94

Nbre : Nombre ; % : Pourcentage

DISCUSSION

Les volailles et les œufs sont des aliments riches en protéines et constituent une partie importante de l'alimentation humaine. Dans la présente étude 158 œufs de poules pondeuses ont été examinés pour l'isolement et caractérisation de *Salmonella* Sp. Les résultats de la densimétrie montrent que 8,86 % des œufs flottent à la surface de la solution saline donc ne sont pas frais. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux obtenus par Somboro et al en 2017 qui ont obtenu 2,77 %. Ils restent inférieurs aux résultats de Saidou en 2005 qui a obtenu respectivement 91,25% et 100% des œufs qui flottent à la surface de la solution saline. Ces différences pourraient s'expliquer d'une part, par le temps de stockage et d'autre part, par l'augmentation de la chambre à air des œufs entraînant une diminution de leur densité par rapport à celle de la solution. Les résultats du tableau II montrent un taux de conformité de 100 % dans les communes DE SANANKOROBA, SAFO, KAMBILA et la COMMUNE I ce résultat est comparable à ceux obtenus par Somboro et al. (2017) ; tandis que la commune de BANAMBA, le site de TOUBA COURA a présenté un taux de conformité de 80 % soit quatre (04) échantillons contaminés sur vingt (20). A KALANBA CORO quatre (04) échantillons sur sept (07) étaient contaminés par les *Salmonelles* soit un taux de conformité de 42,86 %. Ces taux pourraient s'expliquer par l'utilisation abusive des antibiotiques dans les élevages.

La culture des échantillons des œufs sur gélose *Salmonella-Shigella* (SS) qui est milieu différentiel et sélectif pour l'isolement des espèces de *Shigella* et de *Salmonella* à partir d'échantillons pathologiques suspectés, etc. *Salmonella* spp pour la culture du thiosulfate de sodium et du citrate ferrique permettent la détection du sulfure d'hydrogène par la production

des colonies avec des centres noirs et *Shigella* ont produit des colonies lisses et incolores sur la gélose SS.

La présente étude a permis d'établir une prévalence de *salmonelles* de 5,06 % dans les œufs de poule. Cette prévalence est inférieure à celles obtenues par Keita et al. (2008) ayant travaillé sur des lots d'œufs contaminés issus des fermes proches de la décharge; Sidibé et al. (2013) et Sacko et al. (2023) qui ont eu respectivement 7,48% ; 20,48 % et 12,70%. Cette prévalence significative pourrait s'expliquer par la situation épizootique de la *Salmonellose* dans les élevages, l'utilisation abusive des antibiotiques dans les élevages. Les volailles contaminées au cours de l'élevage sont

Une source très importante de dissémination des *Salmonelles*, au cours des différentes étapes de leur transformation. Les prévalences observées chez les espèces poule et pintade par Sacko et al. (2023) ont

Tableau 4 : Distribution et conformité des échantillons d'œufs dans les différentes communes et sites

Communes	Sites	Recherche de <i>Salmonella</i>		
		Nombre	Positif	Conformité (%)
Sanankoroba	Sanankoroba	39	00	100
	Zoukoume	14	00	100
	Dialakoroba	07	00	100
Banamba	Toumba Coura	20	04	80
	Koulounico	06	00	100
Safô	Djamoussabougou	22	00	100
	Seribala	04	00	100
	Yedoumani	03	00	100
	Safô	02	00	100
Kalan Bacoro	Kalanba Coro	07	04	42,86
Kam Bila	Kati Drale	04	00	100
	Kambila	23	00	100
Comm Une I	Sotuba Ier	07	00	100
Total		158	08	

CONCLUSION

Cette étude a montré que malgré l'utilisation abusive des antibiotiques dans les œufs, certains restent toujours contaminés par les salmonelles. Aussi la présente étude montre que les souches de *Salmonella* isolées à partir de ces échantillons sont résistantes à la plupart des antibiotiques couramment utilisés. Par ailleurs les résultats obtenus confirment que les principaux facteurs qui favorisent la contamination de ces dits produits sont : les non-respects des règles élémentaires d'hygiènes dans les fermes, des bonnes pratiques d'élevage et l'utilisation des outils rudimentaires. En vue de réduire le niveau de contamination des produits avicoles par les *Salmonelles*, l'accent doit être mis sur le respect des bonnes pratiques d'élevage dans les fermes et la maîtrise des Salmonelloses dans les élevages avicoles.

REMERCIEMENTS

Fanta Kaba CAMARA est doctorante au Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (Labo REMM-BioTech), Faculté des Sciences et Techniques – Université des Sciences, Techniques et Technologies

étété respectivement de 14,91% et 10,88%. Ces résultats s'expliqueraient par les mauvaises conditions élevages des poules. Les microorganismes susceptibles de pénétrer jusqu'au jaune de l'œuf sont rares et appartiennent essentiellement aux espèces des bactéries à Gram négatif ceci a justifié la recherche dans les œufs de ceux appartenant généralement à la famille des *Entérobactériaceae*. Parmi ces espèces bactériennes, les Salmonelles jouent un rôle extrêmement important, pouvant causer des toxi-infections alimentaires. Les œufs de volailles peuvent être l'une des sources de contamination de l'Homme par les *Salmonelles*. En effet, les Salmonelles provoquent différentes maladies : les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes, et les gastro-entérites. La qualité microbiologique des œufs est aussi tributaire de l'environnement dans lequel les poules sont élevées.

de Bamako. Ses études et travaux de recherche sont soutenus et financés par une subvention du programme de renforcement du personnel de l'ANSSA. Nous tenons à remercier l'ensemble du personnel administratif de l'Institut National de Santé Publique et l'ensemble du personnel administratif et technique du Centre de contrôle qualité des denrées alimentaires pour leur contribution à cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahouannou, Y. V. S., Degnon, G. R., Houyno, S. B., & Chabi, N. (2020). Etude comparative de la qualité microbiologique des saucisses cuites de poulet à pâte fine locale et importée commercialisées au Bénin. EPAC/UAC.
- Coulibaly, Y., Diarra, O., Maiga, B. M. D. A., Daou, C., Samake, F., & Babana, A. H. (2022). Determination of the Content of Organochlorine Pesticides Residues in Chicken Eggs Sold in Bamako. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 63(2), 54-63.
- Dembele, C., Diarra, O., Babana, A.H., et al. (2020). Detection of aflatoxins in smoked fish (*Clarias anguillaris*) sold in the Bamako District. J Microbiol Exp, 8(4), 129–133. DOI: 10.15406/jmen.2020.08.00297
- Diarra, O. (2020). Flore fongique dans différents aliments du bétail de la zone périurbaine de Bamako, conditions de production des aflatoxines et essais de détoxification. Thèse de doctorat, USTTB, Bamako, Mali. 121p.

5. Diarra, O., Babana, A. H., et Maïga, K. (2017). Fungal profile and mycotoxin contamination in animal feed in urban and peri-urban zones of Bamako. *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.*, 4(11), 50-56.
6. DNPIA, 2015. Direction nationale des productions et des industries animales Rapport Annuel. 125 pages.
7. Koné, A.K. (2015). Recherche de l'aflatoxine dans le lait. Thèse de doctorat de pharmacie, Faculté de Pharmacie, USTTB, Bamako, Mali. 114p.
8. Mensah, S. E. P., Koudandé, O. D., Sanders, P., Laurentie, M., Mensah, G. A., & Abiola, F. A. (2014). Résidus d'antibiotiques et denrées d'origine animale en Afrique: risques de Santé publique. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 33(3), 1-27p.
9. M'hamdi, N., Lanouar, L. (2014). Consommation et gaspillage de viandes et produits laitiers en Tunisie. *Watch Letter*, 30, 1-4p.
10. Olivier K. (2007). Contribution à l'étude de l'évolution des œufs de consommation en fonction des conditions de stockage. Faculté des sciences et techniques 31pp
11. Somboro,M.(2017).Contrôle de la qualité microbiologique des œufs des poules pondeuses de Baguinéda (MALI).Memoire de master Faculté des Sciences Techniques, USTTB, Mali.
12. Nana Kadidia Keita, 2008. Qualité microbiologique des œufs de volailles commercialisés dans le district de Bamako, Université Bamako/FAST, mémoire DEA, 62p
13. Sidibe. S, Coulibaly .K, Sylla. M, Traore. B, Keita. S Doumbia . M.R, Diallo .M, Bengaly. S, Traore. k , Dakouo. M, Niang.M, Wele. C.K, Kone. A. Z, Sidibe .C.A.K Tembely. S: 2013, the dominant pathology identification poultry semi-industrial in Mali in urbain peri district of Bamako and Segou and Sikasso cities: pages 431, 432.
14. Saidou A.A. (2005). Contribution à l'étude de la qualité des œufs de consommation vendue au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey Th. :Méd. Vét. :Dakar; 17
15. Salifou N. (2007). Contribution à l'étude comparative de la qualité commerciale des œufs du marché et des œufs des grandes surfaces : cas de la zone urbaine de la ville de Dakar. Thèse PFE. Ecole Inter - Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires.79 pp

Évaluation du taux d'aflatoxine totale dans certaines céréales et légumineuses fortement consommées au Mali

Sounkalo KONATE^{1,2}, Atia TRAORE², Ousmane DIARRA^{1,2*}, Boubacar Madio dit Aladiogo MAIGA³, Kadia MAIGA², Fassé SAMAKE^{1,2}, Mamadou WELE^{1,4}, Amadou Hamadoun BABANA²

¹Institut des Sciences Appliquées, Bamako, Mali

²Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (LaboREM-Biotech), Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali.

³Laboratoire Central Vétérinaire (LCV)

⁴African Center of Excellence in Bioinformatics (ACE-B) University of Sciences, Techniques and Technologies

*diarraousmane758@gmail.com

RÉSUMÉ : Le sommet mondial sur le développement durable (SMDD) a réaffirmé des objectifs élevés et ambitieux sur sept questions principales. De même, le Plan d’Action Consolidé de l’Afrique (PACA) a fixé des projets prioritaires des Sciences et Technologies. La réussite d’un objectif essentiel ; commun aux deux, à savoir : "l’Agriculture et la sécurité alimentaire", dépendra fortement de la bonne connaissance et de l’utilisation durable de la diversité biologique, particulièrement microbienne. Le Mali, dépend en grande partie de l’agriculture et a besoin d’une croissance annuelle de 6 % ou plus dans ce secteur pour réaliser le développement durable en général. Cependant, la contamination des céréales et légumineuses essentielles pour réduire l’insécurité alimentaire en Afrique, aggravée par la prolifération des champignons toxinogènes, constitue une contrainte principale à l’approvisionnement en aliments sains. Cependant, afin de cibler et de mettre en œuvre de manière optimale ces options, il est impératif que la contamination par les mycotoxines soit quantifiée et cartographiée. Trois cent quatre-vingt-quatre (384) échantillons représentatifs (1-2 kg par échantillon) ont été collectées dans différents marchés à Koutiala, Ségué, Bamako et Koulikoro en 2018 et 2020 pour déterminer leur flore fongique, l’incidence naturelle des mycotoxines. Tous les échantillons analysés étaient contaminés par des champignons, dans la plage de $1,2 \cdot 10^5$ à $33,5 \cdot 10^5$ UFC / g. Le logiciel SAS a été utilisé pour toutes les analyses et les différences ont été considérées comme significatives lorsque $p < 0,05$. Toutes les céréales analysées contiennent des aflatoxines. A cause de la forte consommation et des forts taux d’aflatoxines dans le haricot et le maïs dans les échantillons analysés, nous suggérons une surveillance périodique et l’application de l’analyse des risques et contrôle (HACCP) sur la prévention et le contrôle de mycotoxines dans la production et l’industrie de l’alimentation humaine au Mali.

Mots clés : Aliments, Contamination, Aflatoxines, Haricot, Maïs, Arachide, Mali.

INTRODUCTION

Le sommet mondial sur le développement durable (SMDD) a réaffirmé des objectifs élevés et ambitieux sur sept questions principales. De même, le Plan d’Action Consolidé de l’Afrique (PACA) a fixé des projets prioritaires des Sciences et Technologies. La réussite d’un objectif essentiel ; commun aux deux, à savoir : "l’Agriculture et la sécurité alimentaire", dépendra fortement de la bonne connaissance et de l’utilisation durable de la diversité biologique, particulièrement microbienne. Le Mali, dépend en grande partie de l’agriculture et a besoin d’une croissance annuelle de 6 % ou plus dans ce secteur pour réaliser le développement durable en général. Cependant, la contamination des céréales et légumineuses essentielles pour réduire l’insécurité alimentaire en Afrique, aggravée par la prolifération des champignons toxinogènes, constitue une contrainte principale à l’approvisionnement en aliments sains. En Afrique de l’Ouest, seuls les agents microbiens pathogènes, les résidus de pesticides et les aflatoxines (Mensah et al. 2014), (Koné, 2015), (O. Diarra et al. (2017)), (Dembélé et al 2020) et (Coulibaly et al 2022) ont fait l’objet de travaux ou

d’études dans le cadre d’une démarche de protection de la qualité sanitaire des aliments destinés à la consommation humaine et animale. Les indicateurs de sécurité alimentaire seront difficilement atteints en Afrique tant que les problèmes de contamination par les moisissures et mycotoxines restent non solutionnés. En 2011, la 7ème plate-forme de partenariat pour le développement de l’agriculture africaine globale a souligné la nécessité urgente d’atténuer la contamination par les mycotoxines en recommandant l’établissement de normes de consommation. C’est dans ce contexte que ce projet se propose de quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l’arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l’arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck et al. 2013). Malheureusement, ces produits font face à d’importantes contaminations avec les mycotoxines.



Figure 1: carte montrant les différents sites d'échantillonnage (<http://www.mapnall.com> 24/05/2023 à 10h22)

La contamination par les mycotoxines, substances hautement toxiques produites par des champignons, commence dans les champs et, finalement, traverse la chaîne de valeur et affecte les familles agricoles, les commerçants, les marchés et, enfin, les consommateurs (OMS, 2008). Plusieurs mycotoxines existent, produites par une pléthore de champignons, et les profils de toxines diffèrent selon les cultures dans les pays et les régions (FAO, 1991). Le maïs, par exemple, parmi les produits de base les plus importants au Mali, est l'une des récoltes les plus susceptibles d'avoir des aflatoxines (O. Diarra *et al.*, 2017). La contamination par les mycotoxines du haricot, la plus importante culture des petits exploitants au Mali, est mal quantifiée, bien que les observations visuelles du haricot traité dans les ménages et les marchés présentent une forte contamination par plusieurs champignons.

Les mycotoxines et leur présence dans les aliments pour l'homme et les animaux sont liés au cancer, à la suppression du système immunitaire, au retard de croissance, aux maladies du foie et à la mort (Dow, 1994). La contamination par les mycotoxines limite également les revenus des petits agriculteurs, car la qualité des aliments et les problèmes de sécurité résultant de la contamination présentent des restrictions commerciales. Pour aggraver les choses, les produits sont soumis à un dépistage des mycotoxines avant l'exportation, sans destruction des matières contaminées, concentrant ainsi les cultures contaminées dans la chaîne alimentaire locale. La lutte contre la contamination par les mycotoxines est maintenant considérée comme une priorité en Afrique subsaharienne. Dans plusieurs parties du monde, des options de gestion pour atténuer la contamination par les mycotoxines pendant la croissance et le stockage des céréales et des légumineuses sont disponibles. Cependant, afin de cibler et de mettre en œuvre de manière optimale ces options, il est impératif que la contamination par les mycotoxines soit quantifiée et cartographiée. Dans ce projet, nous proposons une quantification correcte de la contamination par les aflatoxines comme base à (i) l'évaluation du risque des mycotoxines clés, ce qui aidera à identifier les zones cibles d'intervention ; (ii) l'harmonisation des normes de mycotoxines pour

améliorer le commerce dans la région, et (iii) stimuler les mécanismes locaux de surveillance / surveillance et application des normes, assurant ainsi que les produits de base consommés localement soient sûrs.

METHODOLOGIE

Sites d'étude : voir figure 1

Matériel biologique :

Les échantillons de maïs, de haricot et d'arachide ont constitués le matériel d'étude durant cette thèse.

Échantillonnage :

La méthode d'échantillonnage a été raisonnée pour le choix des sites d'échantillonnage. Les critères de choix des localités et des sites de ventes du haricot, du maïs et de l'arachide ont été basés sur l'existence des magasins de stockage et des marchés de vente permanents et une forte consommation des produits étudiés. Les prélèvements d'échantillons ont été faits de façon systématique pour les magasins de stockage moyens. Les marchés ont été choisis au hasard et dans chaque marché, sur des points de vente sélectionnés, des prélèvements ont été effectués de la même façon.

Taille de l'échantillon :

La taille de l'échantillon a été calculée à partir de la formule de Schwartz en utilisant le taux de non-conformité standard de 50%, autorisé dans les cas où un taux précis n'est pas identifié en basant sur les résultats des études réalisés.

Formule de Schwartz :

$$N = Z^2 \frac{p * q}{i^2} \quad (1a)$$

$$q = (1 - p) \quad (1b)$$

$$N = 1,96^2 * \frac{0,5^2}{0,05^2} = 384 \quad (1c)$$

Avec : N= taille de l'échantillon ; Z (constante) = 1,96, i = 5% est la précision avec et q = 1-p, p = 0,50 ; donc q = 1-0,50 = 0,50. N échantillons

L'étude concerne alors 384 échantillons de céréales vendues sur les marchés locaux des zones d'étude retenues.

Prélèvement des échantillons :

Pour des besoins d'analyses, des échantillons de

maïs, de haricot et d'arachide ont été collectés dans les marchés et les lieux de stockages sur les différents sites d'études retenus. Ces échantillons ont fourni des informations sur la contamination des produits stockés dans les ménages et les marchés.

Trois cent quatre-vingt-quatre (384) échantillons représentatifs (1-2 kg par échantillon) ont été collectées dans différents marchés à Koutiala, Ségou, Bamako et Koulikoro en 2018 et 2020. Tous les échantillons ont été homogénéisés et divisés pour obtenir un échantillon de travail de 1 kg pour analyse. Chaque échantillon a été broyé dans un broyeur de laboratoire. Pour l'examen mycologique, les échantillons de céréales et de légumineuses ont été immédiatement analysés à leur arrivée ou ils ont été stockés pendant 2 à 3 jours dans des sacs en papier à température ambiante (environ 25°C). Les échantillons de céréales et de légumineuses destinés à l'analyse des mycotoxines ont été stockés à -4°C.

Dénombrement et isolement des champignons :

Pour le dénombrement et l'isolement des champignons dans les échantillons de céréales et légumineuses, la technique de la plaque diluée modifiée par O. Diarra et al en 2017 a été utilisée. Pour cela, dix grammes de chaque échantillon homogénéisé ont été mélangés avec 90 ml de peptone à 0,1 % et secoués sur un agitateur horizontal pendant 20 minutes. Après ce traitement, 0,1 ml de cette dilution a été inoculé sur chacun des trois milieux différents: Dichloran Rose Bengal Chloramphénicol Agar (DRBC) pour dénombrer les champignons cultivables totaux ; De la gélose au dextrose à la pomme de terre (PDA) et de la gélose à l'extrait de malt (MEA) ont été utilisées, et les plaques ont été incubées sous une photopériode de 12 heures de lumière : 12 heures d'obscurité, à 25°C pendant 7 jours. Les plaques contenant 10 à 300 colonies ont été comptées et les résultats ont été exprimés en unités formant colonies par gramme d'échantillon (UFC/g). Des colonies représentatives de chaque type ont été purifiées en les repiquant sur des plaques avec du PDA.

Traitement et analyse des mycotoxines :

Tous les échantillons de maïs, arachide et haricot prélevés, ont été traités au LaboREM-Biotech à la Faculté des Sciences et Technique, USTTB (Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako). Cinquante (50) grammes de chaque échantillon ont été prélevés et broyés au broyeur mélangeur Stephan à 2700 tours par minute pendant 3 minutes. Les broyats ont été tamisés à travers une maille de 2 mm afin d'obtenir une poudre qui favorise l'extraction des aflatoxines. Tous les échantillons de maïs, arachide et haricot, ont été soumis à un pré-dépistage pour les mycotoxines en utilisant le kit RIDASCREEN (R-Biopharm AG', Germany), disponible au laboratoire. Cinq (5) grammes de poudre de chaque broyat ont été prélevés pour l'extraction des aflatoxines dans un tube de 15

ml avec bouchon.

L'extraction et l'identification des aflatoxines ont été faites selon les instructions du manufacturier (R-Biopharm, 2003). Les aflatoxines ont été extraites par un mélange méthanol: eau (70 :30). Les extraits finaux ont été dilués avec de l'eau distillée et utilisés avec le kit spécifique. Les densités optiques des extraits ont été mesurées à 450 nm. Tous les échantillons et standards ont été analysés en triplicata. Les données sur les aflatoxines présents dans les échantillons ont été analysés en utilisant le logiciel Ridasofwin de Biopharm (R-Biopharm AG', Germany).

Analyse Statistique :

Le test d'analyse de la variance a été utilisé pour analyser le nombre de champignons et la teneur en toxines. Un test à plages multiples pour les variables a été utilisé pour comparer les moyennes des numérasions fongiques et la teneur en toxines des échantillons provenant de différents villages. Le logiciel SAS a été utilisé pour toutes les analyses et les différences ont été considérées comme significatives lorsque $p<0,05$. La distribution normale des contenus en toxine, les moyennes, les erreurs standard et variances ont été calculées en utilisant le logiciel SAS 9.1 (SAS, 1990).

RESULTATS

Flore fongique et les souches

Aflatoxicogènes présentes dans les échantillons analysés :

Les quantités de champignons totaux et ceux capables de produire les aflatoxines (aflatoxinogènes) obtenues sont présentées sur la figure 2 ci-dessus :

L'analyse de la figure 2 montre que les contenus en champignons totaux et toxinogènes varient fortement en fonction des céréales et des saisons de prélèvement. Le maïs qui a présenté la plus forte quantité de champignons totaux ($23,4 \times 10^5$ UFC/g) en saison chaude (figure 2 A), a montré la plus faible quantité de champignons totaux durant la saison pluvieuse ($2,8 \times 10^5$ UFC/g). Cependant, malgré la faible quantité de champignons totaux du maïs en saison pluvieuse, c'est sur le même maïs que la plus forte quantité de champignons toxinogènes ($4,1 \times 10^3$ UFC/g) a été trouvée (Figure 2B). Les plus fortes quantités de champignons totaux, quel que soit le site d'échantillonnage, ont été trouvés sur l'arachide (Figure 2A), avec la plus forte quantité à Koutiala ($22,6 \times 10^5$ UFC/g). Au contraire, les plus faibles quantités de champignons totaux ont été obtenues sur le haricot à Koutiala ($2,1 \times 10^5$ UFC/g) et à Ségou ($0,4 \times 10^5$ UFC/g) et sur le maïs à Bamako ($1,03 \times 10^5$ UFC/g) et Koulikoro ($0,9 \times 10^5$ UFC/g).

Le maïs et l'arachide ont montré de fortes quantités de champignons toxinogènes au niveau de tous les sites d'échantillonnage (Figure 3 B). Cependant, les échantillons de maïs de Koutiala ont montré les plus

fortes quantités de champignons toxinogènes ($1,6 \times 10^3$ UFC/g). De même, les échantillons d'arachide provenant de Bamako ont montré les plus fortes quantités de champignons toxinogènes ($2,8 \times 10^3$ UFC/g) (Figure 2B).

Quantités en aflatoxines des céréales analysées : Trois cent quatre-vingt-quatre (384) échantillons de maïs, d'arachide et de haricot (128 pour chacun) ont été analysés au LaboREM-Biotech (Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie) de la F.S.T. (Faculté des Sciences et Techniques) de l'U.S.T.T.B. (Université des Sciences des Techniques et des Technologies de Bamako). Ces échantillons ont été analysés par la méthode du kit standard aflatoxine RIDA QUICK. Concernant les échantillons : 96 proviennent de Koutiala, 96 de Ségou, 96 de Bamako et 96 de Koulikoro. haricot, de maïs et d'arachide sont consignés dans le tableau I. dans 100% des échantillons analysés. Les résultats d'analyse de la variance pour les concentrations d'aflatoxine mesurées dans les échantillons de

L'analyse des données présentées dans le tableau I montre que le contenu en aflatoxines des échantillons analysés varie significativement d'une céréale à l'autre. Cependant, aucune variation significative n'a été observée entre les différentes répétitions montrant la répétitivité des résultats obtenus. Les résultats des comparaisons des moyennes des concentrations en aflatoxines des céréales analysées en fonction de la

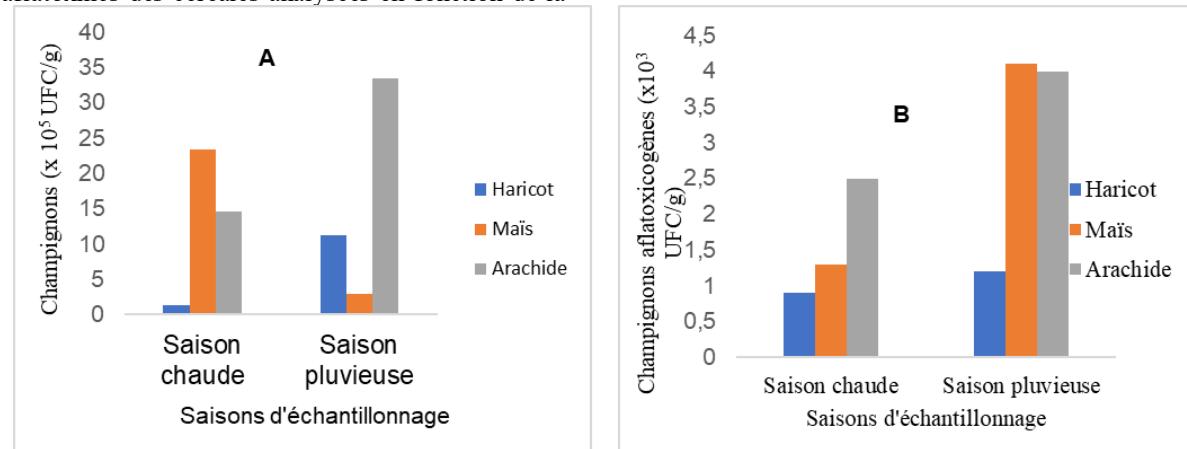


Figure 2 : Quantités, en fonction des saisons, de champignons totaux (A) et toxinogènes (B) sur les céréales analysées

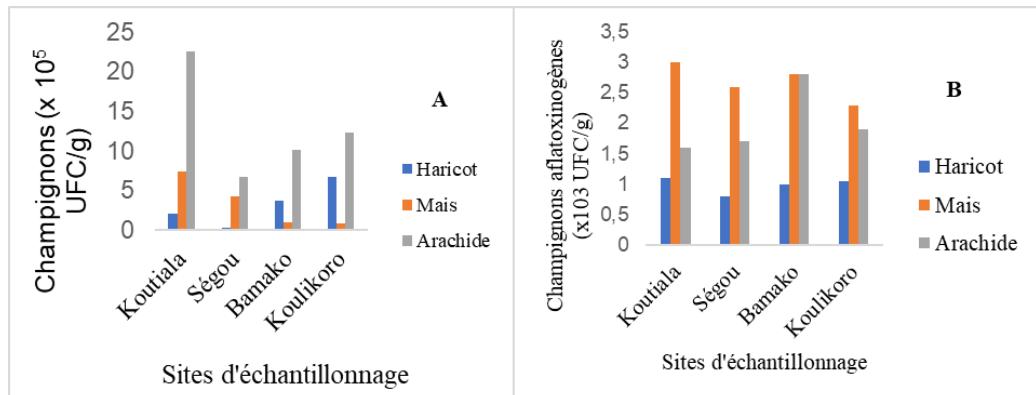


Figure 3 : Quantités, en fonction des sites d'échantillonnages, de champignons totaux (A) et toxinogènes (B) sur les céréales analysées

saison d'échantillonnage sont présentés dans le tableau II ci-dessous :

L'analyse des données présentées dans le tableau II montre que quel que soit la saison d'échantillonnage, le maïs et l'arachide ont présenté les plus fortes concentrations en aflatoxines avec les minima et maxima en aflatoxines les plus élevés (Tableau II). Les concentrations les plus élevées ont été trouvées dans le maïs avec $86,5 \mu\text{g/kg}$ en saison chaude et $162,1 \mu\text{g/kg}$ en saison froide (Tableau II). Le haricot a donné la plus faible concentration en aflatoxine avec les plus faibles minima et maxima quel que soit la saison (Tableau III). Les concentrations en aflatoxines ont été plus élevées pendant la saison froide quel que soit la céréale analysée (Tableau III).

La concentration d'aflatoxine dans le maïs était significativement plus élevée ($p < 0,05$) dans le maïs (détectée : dans tous les échantillons ; moyenne $162,1 \mu\text{g / kg}$; max: $1244 \mu\text{g / kg}$) que dans l'arachide ($122,5 \mu\text{g / kg}$ avec un maximum de $1059 \mu\text{g / kg}$) et le haricot (moyenne $66,5 \mu\text{g / kg}$; max: $857 \mu\text{g / kg}$) (Figure 4; Tableau III).

Comme indiqué dans le Tableau III et la Figure 4, la seconde concentration la plus forte d'aflatoxine totale dans cette étude a été quantifiée dans l'arachide. Des aflatoxines ont été détectées dans 100% des composites d'arachides (saison des pluies : 100%; concentration moyenne $122,5 \mu\text{g / kg}$).

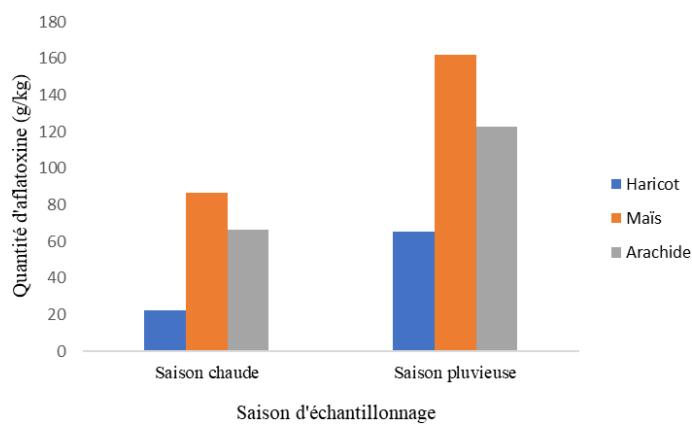


Figure 4 : Concentration en aflatoxine dans le haricot, le maïs et l'arachide en saison chaude et froid

Tableau 1 : Analyse de la variance (ANOVA) pour les taux d'aflatoxines dans les céréales analysées

Sources de variation	Degré de liberté	F
Échantillons	384	***
Répétitions	2	NS

Tableau 2: Effet du type de céréale et de la période d'échantillonnage sur la concentration en aflatoxines dans les échantillons de haricot, de maïs et d'arachide analysés en fonction des saisons d'échantillonnage

Céréales	Quantité d'aflatoxines ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
	Saison chaude	Saison froide
Haricot	22,4 ^c	66,5 ^c
Maïs	86,5 ^a	162,1 ^a
Arachide	66,25 ^b	122,5 ^b

Tableau 3: Comparaison des taux d'aflatoxines dans les céréales et légumineuses analysées

	Saison sèche		Saison froide	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Haricot	0,6	178	13	857
Maïs	0,9	453	8,9	1244
Arachide	2,1	321,5	22	1059

Qualité des céréales analysées :

Les taux d'aflatoxines dans les échantillons de maïs prêts à consommer dépassent les normes de l'UE (4 $\mu\text{g} / \text{kg}$) et celles du Codex (15 $\mu\text{g} / \text{kg}$) pour le haricot. Le haricot non transformé doit être soumis à un tri ou à un traitement physique avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédient (Tableau IV).

Tableau 4 : Contenu en aflatoxines totaux et normes de l'Union Européenne (UE) et Codex pour le commerce et la consommation

Céréales	Quantité d'aflatoxines ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		Normes	
	Saison chaude	Saison froide	Union Européenne	Codex
Haricot	22,4	66,5	4 $\mu\text{g} / \text{kg}$	15 $\mu\text{g} / \text{kg}$
Maïs	86,5	162,1		
Arachide	66,25	122,5		

Il a été noté que si 10% des échantillons contenaient des concentrations d'aflatoxines inférieures à la norme de l'UE (4 $\mu\text{g} / \text{kg}$) et 21% inférieurs à la norme codex, 90% et 79% des échantillons avaient respectivement une concentration en aflatoxines supérieure aux normes UE et Codex. Le fait que : (i) tous les échantillons de

maïs collectés pendant la saison pluvieuse contenaient en moyenne une forte concentration d'aflatoxines (162,1 $\mu\text{g} / \text{kg}$) soit 40,5 fois supérieur à la norme UE et 10,6 fois supérieur à la norme Codex et que l'arachide et le haricot contiennent aussi de très fortes concentrations d'aflatoxines, et que (ii) le maïs, l'arachide et le haricot sont fortement utilisés comme aliments de l'homme et des animaux; nous exige de signaler la contamination des céréales comme risque potentiel pour la population.

DISCUSSION

Tous les échantillons analysés étaient contaminés par des champignons, dans la plage de $1,2 \cdot 10^5$ à $33,5 \cdot 10^5$ UFC / g. Selon Pitt et Hocking (2009), les champignons xérophiles, qui sont capables d'une croissance rapide au-dessus d'environ 0,77 activité de l'eau, peuvent endommager les aliments comme le montrent nos résultats.

Le maïs et l'arachide ont montré de fortes quantités de champignons toxinogènes au niveau de tous les sites d'échantillonnage. Cependant, les échantillons de maïs de Koutiala ont montré les plus fortes quantités de champignons toxinogènes. Les *Aspergillus* capables de produire les aflatoxines étaient les genres les plus détectés durant cette étude. Le taux de champignons toxinogènes varie fortement en fonction de la zone et de la période d'échantillonnage avec les plus fortes concentrations pendant la saison pluvieuse. Ces résultats sont conformes à ceux de nombreux chercheurs qui ont montré que les champignons toxinogènes, particulièrement ceux du genre *Aspergillus*, sont principalement répandus dans les pays tropicaux (Kana et al., 2013 ; Greco et al., 2014 ; Kehinde et al., 2014) et O. Diarra et al., 2017). Les variations de concentration en champignons totaux et toxinogènes observées sont liées, d'une part à la composition des céréales, et d'autre part aux conditions climatiques qui prévalent à chaque saison.

Toutes les céréales analysées contiennent des aflatoxines. Cependant, le fait que les aflatoxines aient été détectées dans les aliments fortement consommés au Mali ne signifie pas que tous

représentent une menace pour la santé humaine car les aflatoxines n'ont pas la même nocivité. En effet, l'aflatoxine B1 a été reconnue comme la plus toxique pour les Hommes et les animaux (Vargas et al., 2001). À l'heure actuelle, dans le cas de nombreuses analyses, le manque de connaissances sur l'effet combiné (et potentiellement synergique) avec d'autres substances limite notre interprétation. Il représente cependant une contribution aux connaissances qui pourront être utilisées lorsque de nouvelles données toxicologiques concernant d'autres mycotoxines seront disponibles.

Dans le reste de cette discussion, nous avons jugé pertinent de nous concentrer sur les aflatoxines de santé publique et l'importance du commerce international. Cependant, bien que les prévalences des aflatoxines dans les échantillons d'arachide et de maïs (Caballero et al, 2015 ; Keita et al, 2013) sont souvent pointées du doigt, la prévalence en aflatoxine du haricot n'a pas souvent été mise en évidence dans les enquêtes précédentes. Dans le monde, plusieurs études diététiques totales de divers pays ont inclus les aflatoxines, dont la France (Leblanc et al, 2005 ; Sirot et al, 2013 ; Fleury et al, 2017), le Canada (Tam et al, 2011), le Liban (Raad et al, 2014), le Vietnam (Huong et al, 2016) et la Chine (Qiu et al, 2017). En Afrique, des études sur les biomarqueurs urinaires (Abia et al, 2013 ; Ediage et al, 2013 ; Ezekiel et al, 2014), des enquêtes sur les produits alimentaires (Misihairabgwì et al, 2017 ; Ssepuya et al, 2018) et l'analyse des aliments préparés tels que consommés (Abia et al, 2017) ont contribué à attirer l'attention de la communauté de la santé publique sur la menace des mycotoxines.

Sans surprise, la concentration élevée de la somme des AFB1, AFB2, AFG1 et AFG2 dans les aliments (haricot, maïs et arachides) tels qu'ils sont consommés est probablement le résultat de santé publique et commercial le plus significatif de cette analyse par rapport à d'autres régions du monde (Marin et al, 2013). Le fait que le maïs, l'arachide et le haricot fortement consommés au Mali puissent contenir des concentrations élevées d'aflatoxine totale a été rarement rapporté (Shephard, 2018). Le haricot, l'arachide et le maïs sont donc susceptibles de contribuer de manière significative à l'exposition aux aflatoxines. Le Comité conjoint des experts sur les additifs alimentaires et les contaminants (JECFA) a noté lors de la 83e session (World Health Organization, 2016) que l'estimation actuelle de l'exposition mondiale avait été établie avec des données d'occurrence appartenant aux pays de la région européenne de l'OMS et qu'aucune information n'était disponible sur les niveaux de fumonisines dans le maïs dans les régions Afrique, Méditerranée orientale et Asie du Sud-Est. Le JECFA a également noté (World Health Organization) que l'interaction entre AFB1, un composé aux propriétés génotoxiques connues, et les fumonisines, qui ont le potentiel d'induire une prolifération cellulaire

régénérative, est préoccupante.

Nous souhaitons souligner l'absence de normes Codex pour les mycotoxines dans les huiles comestibles et, à la lumière des données d'occurrence présentées dans ce document, la nécessité de surveiller les niveaux de contamination par les aflatoxines dans le haricot. Les mesures d'atténuation du risque d'exposition aux aflatoxines comprennent la prévention de la croissance des champignons producteurs de toxines via le contrôle biologique (Ji et al., 2016) sur le terrain, les bonnes pratiques après récolte (Suassuna et al., 2018) et la biodégradation des aflatoxines (Liu et al., 2022; Diarra et al., 2020). Étant donné que la co-exposition humaine aux toxines naturelles par le biais des aliments africains typiques est actuellement inévitable, les autorités nationales de sécurité sanitaire des aliments doivent veiller à ce que les évaluations des risques soient correctement effectuées pour protéger la santé humaine et maintenir le commerce international.

Comme le démontre la présente étude, les aflatoxines contaminants fréquents dans de nombreux aliments (comme le maïs et le haricot) menacent la santé humaine. Les populations du sud du Mali peuvent subir une exposition forte et répétée à des toxines naturelles (aflatoxines). Dans une étude récente (Wangia et al, 2019), les effets combinés de diverses toxines à des concentrations réalisables ont été étudiés plus en détail et ont révélé des additifs antagonistes.

CONCLUSION

Ce travail est une contribution au débat actuel sur les risques liés à la contamination des aliments par les mycotoxines. L'objectif était de caractériser le degré de contamination en aflatoxines des aliments (le haricot, le maïs et l'arachide) vendus au Mali et destinés à l'homme et aux animaux. Les fortes concentrations en aflatoxines montrent qu'il existe des problèmes de qualité des aliments destinés aux consommateurs. Dans ce travail, tous les échantillons d'aliments analysés étaient contaminés par les aflatoxines avec la plus forte concentration en aflatoxine au niveau du haricot en saison pluvieuse. C'est à Koutiala que nous avons obtenu les plus fortes contaminations durant la saison pluvieuse.

A cause de la forte consommation et des forts taux d'aflatoxines dans le haricot et le maïs dans les échantillons analysés, nous suggérons une surveillance périodique et l'application de l'analyse des risques et contrôle (HACCP) sur la prévention et le contrôle de mycotoxines dans la production et l'industrie de l'alimentation humaine au Mali.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abia, W.A.; Warth, B.; Ezekiel, C.N.; Sarkanj, B.; Turner, P.C.; Marko, D.; Krská, R.; Sulyok, M. Uncommon toxic microbial metabolite patterns in traditionally home-processed maize dish (fufu) consumed in rural Cameroon. *Food Chem. Toxicol.* **2017**, 107, 10–19.

Abia, W.A.; Warth, B.; Sulyok, M.; Krská, R.; Tchana, A.; Njobeh, P.B.; Turner, P.C.; Kouanfack, C.; Eyongetah, M.; Dutton, M.; et

- al. Bio-monitoring of mycotoxin exposure in Cameroon using a urinary multi-biomarker approach. *Food Chem. Toxicol.* **2013**, *62*, 927–934.
- Caballero et al, 2015
- Coulibaly Y, Diarra, O; Maiga, B, M, A; Daou, C; Samake, F; Babana, A, H; 2022. Determination of the Content of Organochlorine Pesticides Residues in Chicken Eggs Sold in Bamako; International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) (2022) Volume 63, No 2, pp 54-63.
- Dembele C, Diarra O, Babana AH, Detection of aflatoxins in smoked fish (*Clarias anguillaris*) sold in the Bamako District. *J Microbiol Exp.* 2020 ;8(4) :129–133. DOI : 10.15406/jmen.2020.08.00297
- Diarra, O. 2020. Flore fongique dans différents aliments du bétail de la zone périurbaine de Bamako, conditions de production des aflatoxines et essais de détoxicification. Thèse de doctorat, USTTB, Bamako, Mali.
- Diarra, O., Babana, A. H., Maïga, K., 2017. Fungal profile and mycotoxin contamination in animal feed in urban and peri-urban zones of Bamako. *Int. J. Curr. Res. Biosci. Plant Biol.* **4**(11), 50-56.
- Ediage, E.N.; Diana Di Mavungu, J.; Song, S.; Sioen, I.; De Saeger, S. Multimycotoxin analysis in urines to assess infant exposure: A case study in Cameroon. *Environ. Int.* **2013**, *57*–58, 50–59.
- Ezekiel, C.N.; Warth, B.; Ogara, I.M.; Abia, W.A.; Ezekiel, V.C.; Atehnkeng, J.; Sulyok, M.; Turner, P.C.; Tayo, G.O.; Krskak, R.; Mycotoxin exposure in rural residents in northern Nigeria: A pilot study using multi-urinary biomarkers. *Environ. Int.* **2014**, *66*, 138–145.
- FAO, Food and Agriculture Organization, (1991) Production Yearbook, Vol. 44, Rome.
- Fleury, S.; Rivière, G.; Allès, B.; Kesse-Guyot, E.; Méjean, C.; Hercberg, S.; Touvier, M.; Bemrah, N. Exposure to contaminants and nutritional intakes in a French vegetarian population. 2017. *Food Chem. Toxicol.* **109**: 218–229.
- Greco, M.V., Pardo, A.G., Ludemann, V., Martino, P.E., Pose, G.N., 2012. Mycoflora and natural incidence of selected mycotoxins in rabbit and chinchilla feeds. *Sci. World J. Article ID 956056.* 6p.
- Greco, M.V., Franchi, M.L., Golba, S.L.R., Pardo, A.G., Pose, G.N., 2014. Mycotoxins and mycotoxicogenic fungi in poultry feed for food-producing animals. *Scient. World J.* **2014**, 1-9.
- Huong, B.T.M.; Tuyen, L.D.; Tuan, D.H.; Brimer, L.; Dalsgaard, A. Dietary exposure to aflatoxin B(1), ochratoxin A and fumonisins of adults in Lao Cai province, Vietnam: A total dietary study approach. *Food Chem. Toxicol.* **2016**, *98*, 127–133.
- Ji, C. Yu, Y., Zhao, L. 2016. Review on biological degradation of mycotoxins. *Anim Nutr.* 2016 Sep; 2(3): 127–133.
- Kana. J.R., Gnonlonfin, B.G.J., Harvey, J., Wainaina. J., Wanjuki, I., Skilton, R.A., Teguia, A., 2013. Assessment of aflatoxin contamination of maize, peanut meal and poultry feed mixtures from different agroecological zones in Cameroon. *Toxins.* **5**, 884-894.
- Kehinde, M.T., Oluwafemi, F., Itoandon, E.E., Orji, F.A., Ajayi, O.I., 2014. Fungal profile and aflatoxin contamination in poultry feeds sold in Abeokuta, Ogun State, Nigeria. *Nig. Food J.* **32**(1), 73-79.
- Keita, C., Babana, A.H., Traoré, D., Samaké, F., Dicko, A.H., Faradjji, F., Maiga, K., Diallo, A., 2013. Evaluation of the sanitary quality of peanut butters from Mali: Identification and quantification of Aflatoxins and pathogens. *Scient. J. Microbiol.* **2**(8), 150-157.
- Koné, A.K., 2016. Recherche de l'aflatoxine dans le lait. Thèse de doctorat de pharmacie, Faculté de Pharmacie, USTTB, Bamako,
- Mali. 114p.
- Leblanc, J.C.; Tard, A.; Volatier, J.L.; Verger, P. Estimated dietary exposure to principal food mycotoxins from the first French Total Diet Study. *Food Addit. Contam.* **2005**, *22*, 652–672. [CrossRef] [PubMed]
- Lewis, I., onsongo, M., njapau, H., Schurz-Rogers, H., luber, G., Kieszak, S., nyamongo, J., Backer, L., Dahiye, A. M., Misore, A., Decock, K., Rubin, C., & the Kenya Aflatoxicosis investigation Group. (2005). Contamination par les aflatoxines des produits commerciaux dérivés du maïs au cours d'une flambée d'aflatoxicose aiguë au Kenya Orientale et centrale. *Environmental Health Perspectives* **113**(12): 1763–1767;
- Li, F., Li, Y., Wang, Y., & Luo, x. (2009).). Phénomène naturel des aflatoxines dans le beurre d'arachide et la pâte de sésame chinois. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* **57**(9), 3519–3524. Retrieved november 8, 2011 from ACS Publications database
- Liu, Y., & Wu, F. (2010). La Charge mondiale du carcinoma hépatocellulaire carcinome induite par l'Aflatoxine: Une évaluation des risques. *Environ Health Perspect* **118** (6), 818-824.
- Marin, S.; Ramos, A.J.; Cano-Sancho, G.; Sanchis, V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem. Toxicol.* **2013**, *60*, 218–237.
- Mensah, S.E.P., O.D. Koudandé, P. Sanders, M. Laurentie , G.A. Mensah, F.A. Abiola.,2016 Résidus d'antibiotiques et denrées d'origine animale en Afrique : risques de santé publique.
- Misihairabgwı, J.M.; Ezekiel, C.N.; Sulyok, M.; Shephard, G.S.; Krskak, R. Mycotoxin contamination of foods in Southern Africa: A 10-year review (2007–2016). *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2017**, *11*, 1–16.
- OMS (2008). Statistiques Sanitaires Mondiales. Genève. Récupérée de http://www.who.int/whosis/whostat/en_WhS08_full.pdf.
- PACA, (2013). PACA Strategy 2013–2022. Partnership for Aflatoxin Control in Africa, African Union Commission, Addis Ababa, Ethiopia.
- Pitt, J.I., (2000). Toxigenic fungi and mycotoxins. *Br. Med. Bull.* **56** (1): 184 – 192
- Pitt et Hocking (2009)
- Qiu, N.N.; Lyu, B.; Zhou, S.; Zhao, Y.F.; Wu, Y.N. (2017). The contamination and dietary exposure analysis for seven mycotoxins in the Fifth Chinese Total Diet Study. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, **51**, 943–948.
- Raad, F.; Nasreddine, L.; Hilan, C.; Bartosik, M.; Parent-Massin, D. 2014. Dietary exposure to aflatoxins, ochratoxin A and deoxynivalenol from a total diet study in an adult urban Lebanese population. *Food Chem. Toxicol.* **73**, 35–43.
- Seck, P.A., Toure, A. A., Coulibaly, J. Y., Diagne. A. and Wopereis, M. C. S. (2013). Impact of rice research on income, poverty and food security in Africa: an ex-ante analysis. In: Wopereis, M. C. S., Johnson, D. E., Ahmadi, N., Tollens, E., and Jalloh, A. (Eds.), Realizing Africa's Rice Promise. CAB International, Wallingford, UK. pp. 24-33. (OMS, 2008).
- Shephard, G.S. Aflatoxins in peanut oil: Food safety concerns. (2018) *World Mycotoxin J.* **11**: 149–158.
- Sirot, V.; Fremy, J.M.; Leblanc, J.C. Dietary exposure to mycotoxins and health risk assessment in the second French total diet study. *Food Chem. Toxicol.* **2013**, *52*, 1–11. [CrossRef]
- Ssepuuya, G.; Van Poucke, C.; Ediage, E.N.; Mulholland, C.; Tritscher, A.; Verger, P.; Kenny, M.; Bessy, C.; De Saeger, S. (2018). Mycotoxin contamination of sorghum and its contribution to human dietary exposure in four sub-Saharan countries. *Food Addit. Contam. Part A* **2018**, *35*, 1384–1393.
- Suassuna, T., de M.F., Cartaxo, C.B de S, Babana, A.H., Borin, A.L.D.C., Suassuna, N.D., Coutinho, W.M., ALMEIDA, R.P. de de,

Di Stephano, J.G., Traoré D., Maiga, K., Diarra, O. 2018. Bonnes pratiques agricoles pour réduire le risque de contamination par l'aflatoxine dans la production d'arachide au Mali. Embrapa Algodão - ISSN 0103-0205, Embrapa Acere - ISSN 0104-9046

Tam, J.; Pantazopoulos, P.; Scott, P.M.; Moisey, J.; Dabeka, R.W.; Richard, I.D. (2011). Application of isotope dilution mass spectrometry: Determination of ochratoxin A in the Canadian Total Diet Study. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assess.* 28, 754–761.

Vargas E.A., Preis R.A., Castro L., Silva C.M. (2001). Co-occurrence of aflatoxins B1, B2, G1, G2, zearalenone and fumonisin B1 in Brazilian corn, *Food Addit. Contam.*, 18 (11): 981-986

Wangia, R.N., Githanga, D.P., Wang, J-S., Anzala. O.A. 2019. Aflatoxin exposure in children age 6–12 years: a study protocol of a randomized comparative cross-sectional study in Kenya, East Africa. *Pilot and Feasibility Studies* (2019) 5:141

Prévalence des coliformes totaux, staphylococcus aureus à coagulase positif et Salmonella spp. dans les aliments préparés analysés au Laboratoire National de la Santé (Mali) en 2022

SAMAKE Salimatou^{1*}, DIARRA Souleyemene¹, DIARRA Ousmane¹, SISSOKO Aminata³, KONATE Adama⁴, FOFANA Aminata⁵, DEMBELE Nanourou⁴, FANÉ Rokiatou⁴, DAO Sogna⁴, SIBY Lalia², SANOGO Youssouf⁴, SAMAKE Fassé¹

¹Institut des Sciences Appliquées, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

²Laboratoire National de Santé Publique, Bamako, Mali

³Laboratoire Central Vétérinaire, Bamako, Mali

⁴Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

⁵Institut National de Formation en Sciences de la Santé, Bamako, Mali.

*samake_salimatou@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Le contrôle microbiologique des aliments préparés avant consommation dans les établissements privés et publics est un des moyens pour apprécier le respect des bonnes pratiques d'hygiène sur la chaîne de préparation. Afin de déterminer la qualité des aliments préparés et servis dans certains grands instituts à Bamako, cette contribution s'est fixée pour objectif de déterminer les germes liés à la qualité microbiologique des aliments préparés et mis en service. Au total, 30 échantillons de divers plats préparés (riz, sauce, poisson, boisson) de plusieurs provenances sont analysés au Laboratoire National de la Santé (LNS). Après la préparation de la suspension mère et les dilutions, les Coliformes totaux et Staphylocoques dorés sont recherchés et dénombrés respectivement sur Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL) et Bair-Parker. Les Salmonelles ont été pré-enrichis sur l'eau peptonée tamponnée, puis enrichis sur le bouillon Rappaport-Vassiliadis et le milieu Muller Kauffmann et isolés sur les milieux Hektoen et XDL. Ils ont été pré-identifiés puis identifiés respectivement sur TSI et galerie API 20E. Les résultats ont montré que les aliments provenant des hôtels étaient les plus représentés avec 43,33%, suivis de ceux des banques (33,34%) et des mines (23,33%). Les aliments étaient contaminés à 26,7% non conformes. La prévalence de non-conformité la plus élevée a été observée au niveau des hôtels (33,77%) puis dans les mines (20,00%) et les banques (28,57%) pour les Coliformes. Pour les Staphylocoques dorés et les Salmonelles, la prévalence la élevée a été observée dans les Mines (14,29%) suivi des Banques (10,00%). Ces résultats dénotent une défaillance dans l'application des bonnes pratiques d'hygiène sur la chaîne de production des aliments préparés. Cette situation représente un risque sanitaire pour les consommateurs des établissements considérés. Des actions de sensibilisations devraient être menées par les autorités sanitaires auprès des restaurateurs pour le respect des bonnes pratiques de préparation des aliments.

Mots clés : Aliments préparés, prévalence des coliformes totaux, Staphylocoques dorés et Salmonelle, LNS, Mali.

INTRODUCTION

En Afrique, l'OMS estime à plus 600 millions de personnes (1/10) dans le monde, tombent malade chaque année après avoir consommé des aliments contaminés et 420000 en meurent. Il en résulte la perte de 33 millions d'années de vie en bonne santé. [21]

Une politique d'hygiène mal adaptée se traduit par une augmentation de la contamination microbienne avec la possibilité de développement de microorganismes pathogènes (Salmonelles, clostridium, coliformes, Staphylocoques) et donc un risque de toxi-infection alimentaire. [3]

L'intoxication alimentaire staphylococcique est considérée comme l'une des principales causes de toutes les maladies d'origine alimentaire. [12]

Les pathogènes d'origine alimentaire comme *Salmonella*, *Clostridium* et *Escherichia coli* entérohémorragique et *Listeria monocytogenes* sont

parmi les micro-organismes les plus courants, qui causent des maladies chez des millions de personnes dans le monde chaque année.

Au Mali, les aliments sont le plus souvent vendus en permanence dans les lieux de regroupement tel que : les restaurants, les services publics ou privés, les hôtels ; les écoles ; les institutions publiques etc. La plupart sont sans contrôle au préalable et constitue aujourd'hui un véritable danger d'intoxication alimentaire pour le consommateur. [10]

Ainsi l'étude de la flore de contamination hygiénique et pathogène s'avère un des meilleurs moyens pour apprécier la qualité des aliments préparés servis dans certaines institutions et analysés au Laboratoire National de la Santé.

OBJECTIFS

Objectif général :

Contribuer à la détermination de la qualité microbiologique des aliments préparés, vendus dans

les établissements publics et analysés au Laboratoire National de la Santé (LNS).

Objectifs spécifiques :

- Identifier les Coliformes totaux, les *Staphylococcus aureus* à coagulasse positive et salmonella spp, dans les aliments préparés analysés au LNS.
- Déterminer la prévalence des Coliformes totaux, les *staphylococcus aureus* à coagulasse positive et salmonella spp, dans les aliments préparés.

METHODOLOGIE

Pour réaliser cette étude, divers matériels (petits et gros), des milieux de culture et réactifs ont été utilisés. Le matériel biologique était constitué de Trente (30) échantillons d'aliments préparés et vendus dans les établissements publics de Bamako. Il s'agissait d'aliments couramment consommés et essentiellement composés de riz avec sauce, poisson braisé, sandwich, brochette. Ces aliments ont été prélevés de façon aléatoire soit par les techniciens de laboratoire (dans les conditions requises d'hygiène pour analyse bactériologique) et transportés de manières adéquates au laboratoire, ou par les clients eux-mêmes.

- Les échantillons ont été transportés sous glace et conservés dans les réfrigérateurs à 3 à 5°C avant l'analyse.
- Les échantillons ont été analysés dans les 24-48heures après leur prélèvement.
- Préparation de la suspension mère et des dilutions décimales :
- La suspension mère a été préparée selon la norme internationale en microbiologie de la chaîne alimentaire (ISO 6888 :2017).
- Dix (10g) de l'échantillon d'aliment ont été dissous dans 90ml de tryptone-sel dans un sachet Stomacher stérile.
- L'ensemble a été broyé à l'aide d'un mixeur « Bag Mixer » pendant 30 à 60 secondes.
- La solution ainsi obtenue était la dilution 10-1. A partir de cette dilution mère, des dilutions décimales successives ont été réalisées en fonction des critères microbiologiques des produits.
- Pour le paramètre Salmonelles, 25g d'échantillons ont été dilués dans 225ml de tryptone sel.

Recherche des Coliformes totaux :

Elle a été réalisée selon la méthode NF V08-050 – 2009.

Sous une hotte à flux laminaire, à l'aide d'une pipette stérile, 1ml de la dilution appropriée a été introduit dans deux boîtes de Pétri stériles à usage unique auquel 15ml de la gélose VRBL préalablement préparés ont été ajoutés.

Le mélange a été homogénéisé par un mouvement de rotation et laissé solidifier à la température ambiante de la hotte. Une deuxième couche de 5ml

du milieu VRBL a été coulée et laissée solidifier pendant 10min. Les cultures ont été incubées à 30°C± 1°C durant 24h ± 2h et les boîtes de Pétri ont été retournées (couvercle vers le bas).

Une culture témoin négatif de 20ml du milieu VRBL en boîte de Pétri a été réalisée pour vérifier la stérilité du milieu dans les mêmes conditions.

Après incubation, les colonies caractéristiques (rouge-violacées de diamètre ≥ 0,5mm) ont été dénombrées

*Recherche des *Staphylococcus aureus* :*

Sous une hotte à flux laminaire, 0,1 ml de la suspension mère (dilution 10-1) et chacune de des dilutions a été transféré à l'aide d'une pipette stérile à la surface des boîtes de Pétri contenant le milieu sélectif (20ml de BP solidifier), préalablement préparé. Après solidification les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 48h.

Une culture témoin négative de 20ml du milieu en boîte de Pétri a été réalisée pour vérifier la stérilité des milieux dans les mêmes conditions.

Après incubation, une partie de chaque colonie caractéristique sélectionnée a été ensemencée dans 5ml de bouillon cœur cervelle (BCC) à l'aide d'un fil stérile et incubée à 37°C pendant 24h ± 2 h. 0,1 ml de chaque culture a été ajouté aseptiquement à 0,3ml de plasma de lapin dans des tubes stériles à hémolyse. Les confirmées Staphylocoques dorés ont été dénombrées

Recherche des Salmonelles :

Elle a été faite selon la norme (ISO 6579-1 :2017).

- Pré-enrichissement de la suspension mère a été fait à 37°C pendant 18 h- 24h après homogénéisation avec le Bag MIXER.
- L'enrichissement sélectif a été réalisé dans 10ml des milieux Rappaport-Vassiliadis et Muller Kauffmann, auxquels on a ajouté respectivement 0,1ml et 1ml du pré-enrichissement. Les tubes sont respectivement incubés à 41,5 °C et 37 °C pendant 24h.
- L'isolement sélectif a été réalisé sur deux milieux d'isolement sélectifs (XLD et Hecktoen) pour augmenter la sensibilité de détection de Salmonelles. Ces milieux d'isolement ont été ensemencés en strie avec une quantité des milieux d'enrichissements (Rappaport et Kaufmann) prélevée à l'aide d'une anse métallique stérile et incubés à 37°c pendant 24h.
- La lecture a été réalisée après incubation, les colonies transparentes à centre noir caractéristiques de Salmonelles ont fait l'objet d'identification Biochimique sur le milieu TSI incubés à 37°C pendant 24 heures.
- Les colonies suspectées salmonelle après identification biochimique (un culot noir ; une pente rose/rouge et la présence de gaz), ont été confirmées par la galerie API20E

miniaturisée de la fondation Mérieux.

Expression des résultats d'analyses :

La norme internationale (ISO 7218 :2013) a été utilisée pour calculer le nombre des colonies dénombrés en boîte de pétri.

Les résultats du dénombrement ont été exprimés en Unité Format Colonie (UFC/g).

Formule de cas général : C'est le cas où la somme des colonies est comprise entre 10 et 300 (GAM) ; 10 et 150 (autres germes).

$$\Sigma CN = V * 1,1 * d \quad (1)$$

N : nombre de colonies ou micro-organismes présentes dans l'échantillon ; ΣC : Somme de colonies comptées sur les deux boîtes retenues de deux dilutions successives et dont au moins une contient au moins 10 colonies ; V : Volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte, en millilitre ; d : Facteur de dilution de la 1ère dilution retenue.

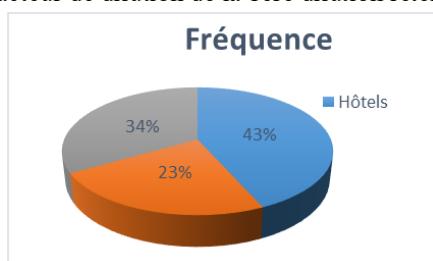


Figure 1 :: Diagramme de fréquence des échantillons selon leur provenance

RESULTATS

Répartition des aliments analysés en fonction de la provenance :

Parmi les 30 échantillons d'aliment analysés, nous avons 43,33% (13/30) provenant des Hôtels contre 23,33% (7/30) des échantillons provenant des mines et 33,34% (10/30) pour les banques (figure 1)

Aspect des colonies des germes recherchés sur les milieux de culture :

Les coliformes sur le milieu VRBL (7a). Celle des *Staphylococcus aureus* sur le milieu Bair-parker (7b) et les Salmonelles sur le milieu Hecktoen et le milieu XLD (7c).

Dans cette étude, sur les 30 échantillons analysés, les résultats ont montré que huit (8) échantillons contenaient des coliformes avec une concentration supérieure à la norme, deux (2) échantillons contenaient des Staphylocoques dorés et deux (2) autres des Salmonelles.

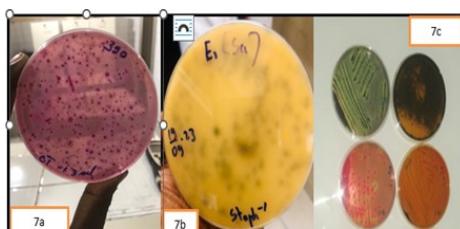


Figure 2 : Aspects des germes recherchés sur les milieux de culture

Prévalence des coliformes totaux dans les aliments analysés :

Les coliformes totaux ont été les germes les plus retrouvés dans les aliments des différentes structures avec une prévalence de 30,77% dans les hôtels, ce qui est proche de celui des mines 28,57% et une prévalence de 20% dans les banques (tableau 2).

Tableau 1: Prévalence des coliformes totaux : en fonction des provenances

Prévalence	Hôtels	Mines	Banques
Coliformes totaux	30,77%	28,57%	20%

Prévalence des staphylocoques aureus dans les aliments analysés :

Les *staphylococcus aureus* étaient plus prédominant dans les échantillons provenant des mines avec une fréquence de 14,29% ensuite viennent ceux des banques avec une fréquence de 10% et absent dans les échantillons des hôtels (tableau 3).

Tableau 2 : Prévalence des staphylocoques aureus en fonction des provenances.

Prevalence	Hôtels	Mines	Banques
<i>Staphylococcus aureus</i>	0 %	14,29%	10%

Prévalence des salmonelles dans les aliments analysés :

Les salmonelles avaient les mêmes fréquences que les staphylocoques aureus.

Tableau 3: Prévalence des salmonelles en fonction des provenances

Prevalence	Hôtels	Mines	Banques
Salmonelles	0%	14,29%	10%

Conformité des échantillons d'aliments analysés en fonction de la provenance

Le taux de non-conformité des échantillons provenant des hôtels était plus élevé avec une fréquence de 30%, suivis des mines et assez proches avec un taux de 28,30% ensuite viennent ceux des banques avec un taux de non-conformité de 20%. (Tableau 4?)

Tableau 4 : Répartition des échantillons en fonction de la conformité et la provenance

Conformité Provenance	Conforme	Non conforme
Hotels	69,23%	30,77%
Mines	71,43%	28,57%
Banques	80%	20%

Conformité des aliments analysés

Les résultats issus de cette étude montrent que les échantillons analysés présentent au total une non-conformité de 26,66% contre 74,34% de conformité (Tableau 6)

Tableau 5 : Conformité des échantillons aliments analysés pour les trois germes recherchés

Conformité	Fréquence de conformité	Fréquence de non-conformité
Echantillons total	73,34%	26,66%

DISCUSSION

Dans cette étude, sur les trente échantillons d'aliments préparés analysés, 43,33% provenaient des Hotels. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que certains hôtels ont intégré la notion de contrôle de qualité dans leur habitude.

Les coliformes totaux étaient plus prédominants dans les aliments analysés avec une fréquence de non-conformité de 26,66 %. Nos résultats sont supérieurs à celui de Barro et al, 2002 qui ont trouvé une fréquence de 23,2% dans leur étude au Burkina Faso mais rejoignent celui de Baba Moussa et al, 2006 avec une fréquence de 25% au Togo (Cotonou). La différence de fréquence obtenue pourrait s'expliquer soit par le type d'aliments préparés analysés ou la méthode d'analyse utilisée.

D'autres études similaires comme celui de Belomaria et al, 2017 ; Rayene et al, 2022 ont respectivement trouvé des résultats de non-conformité pour le *Staphylococcus aureus* qui sont inférieurs à ceux de notre avec 3,12% et 4% contre 6,66%. La présence de ce germe dans les aliments s'explique souvent par l'inefficacité du traitement thermique ou des agents bactéricides lors de la préparation.

La fréquence de non-conformité des *Salmonella spp* a été de 6,66 % ce qui est très significative car cette bactérie est l'une des plus redoutables et est responsables de graves toxi-infection alimentaire. Sa présence à 1UFC/g de nourriture équivaut à sa destruction. Le résultat obtenu est différent de ceux de Boudjellal et Boudjerda, D. E (2009) en Algérie et Ilboudo et al, 2005 au Burkina Faso qui ont obtenu respectivement qui obtenu une absence de Salmonelles dans les échantillons analysés.

CONCLUSION

Le département de contrôle de qualité microbiologique des aliments du Laboratoire National de la Santé joue un rôle capital dans le contrôle de la qualité des aliments consommés par la population malienne. Trente échantillons d'aliments de types différents ont été analysés dans cette étude,

les coliformes, qui déterminent la qualité hygiénique d'une denrée ont été retrouvés dans les aliments avec 26,66% de non-conformité. Les contaminants pathogènes comme les Staphylocoques dorés et les Salmonelles y ont été retrouvés avec 6,66% de non-conformité chacun. Ces résultats dénotent plus ou moins une défaillance hygiénique sur la chaîne de la préparation à la vente qui favoriserait à son tour la contamination par les microorganismes pathogènes, pouvant ainsi compromettre la santé du consommateur.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Laboratoire National de la Santé (LNS) et l'Institut des Sciences Appliquées (ISA).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Baba-Moussa, L., Bokossa, Y. I., Baba-Moussa, F., Ahissou, H., Adeoti, Z., Yehouenou, B., ... & Sanni, A. (2006). Etude des possibilités de contamination des aliments de rues au Bénin : cas de la ville de Cotonou. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 8, 149-156.
- [2] Barro et al, (2002) Evaluation de la qualité microbienne de quelques aliments de rue dans la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. *Cahiers Santé*, 12 :369
- [3] Belomaria, Mohamed, et ABderrazak Khadmaoui. (2017). « Etude du profil épidémiologique des toxi-infections alimentaires collectives dans la région du Gharb Charda Bni-Hssen de 2001 A 201 2 : étude rétrospective ». <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01564581>
- [4] Boudjellal, K., & Boudjerda, D. E. (2009). Contrôle de la qualité microbiologique de la viande hachée préparée et commercialisée localement (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [5] OMS, (2020), Sécurité sanitaire des aliments. <https://www.who.int> consulté le 25/07/2023 à 22h34.
- [6] E. Shin, H. Hong, J. Park, Y. Oh, J. Jung, Y. Lee, (2016) Characterization of *Staphylococcus aureus* fecal isolates associated with food-borne disease in Korea, *J. Appl. Microbiol.*
- [7] Dioumé, Cissé (2015): L'offre alimentaire dans les établissements scolaires du quartier Sabalibougou commune du district de Bamako.
- [8] Ilboudo, A. J., Savadogo, A., Barro, N., Ouedraogo, M., & Traore, A. S. (2005). Qualité hygiénique de la viande utilisée en restauration collective dans trois restaurants universitaires de Ouagadougou (Burkina Faso). *Cahiers Santé*, 19(4), 195-9.
- [9] Rayene, A., Bouledroua Djihane, H. M. S., & Ahlam, K. (2022). Evaluation de la qualité bactériologique des aliments prêts à consommer : Cas des produits d'origine animale.

Contrôle Biologique du Chancre Bactérien de l'Oranger (*Citrus X Sinensis*) Causés Par *Xanthomonas Citri* Subsp. à Banco Koura au Mali

Adounigna KASSOGUE^{1*}, Salif SIDIBE¹, Fousseyni SIDIBE¹, Sognan DAO¹, Pauline Wendlassida OUEDRAOGO³, Ibrahima MALLE¹, Amadou Hamadoun DICKO², Djénéba OUATTARA¹, Djénéba NANTOUME¹, Ousmane DIARRA¹, Amadou Hamadoun BABANA¹

¹Laboratoire de recherche en Microbiologie et Biotechnologie microbienne, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali.

²Faculté d'Agronomie et de Médecine Animale, Université de Séguo

³UFR Sciences et Technologies (UFR/ST) de l'Université Norbert ZONGO de Koudougou, Burkina Faso

* adoukass@yahoo.fr/adoukass83@gmail.com

RESUME : Les agrumes sont parmi les plus anciens arbres fruitiers cultivés dans le monde, cette culture peut être endommagés par de nombreuses maladies et parasites. La maladie du chancre bactérien des agrumes causée par *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*Xcc*), est l'une des maladies les plus destructrices pour les agrumes plantations du monde entier, nouvellement envahies et menacées la citriculture au Mali. Les objectifs principaux du présent travail étaient de sélectionner les bactéries à activité antagonistes contre *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*Xcc*) responsable du chancre bactérien de *Citrus x sinensis* d'un verger à Banco Koura dans la commune de Sanakoroba et enfin, de déterminer l'activité antagoniste des souches de Bts sélectionnées dans la collection du LaboREM-Biotech. Dans cette activité, la caractérisation microbiologique et biochimique a permis d'identifier quatre pathogènes responsables du chancre bactérien de *Citrus x sinensis*. L'activité antagoniste des souches de *Bacillus thuringiensis* à activité PGP sélectionnés de la collection du LaboREM-Biotech a montré une efficacité très prometteuse contre la maladie du chancre des agrumes in vitro. Les souches de *Bacillus thuringiensis* B9G et DL1 ont montré une très forte activité antagoniste sur toutes les souches de *Xanthomonas* sp. isolées de *Citrus x sinensis*. Les résultats ont montré que le Bt B9G présentait une activité extrêmement sensible, avec un diamètre d'inhibition (\emptyset) se situant entre 27,8 et 50 mm sur toutes les souches de *Xanthomonas* sp. isolées de *Citrus x sinensis*; tandis que le Bt DL1 présentait une activité très sensible sur le pathogène 2 et sensible sur les trois autres, dont le diamètre d'inhibition (\emptyset) est compris entre 12 et 15 mm.

Mots clés : *Bacillus thuringiensis* ; lutte biologique ; Chancre; Agrumes ; PGP

INTRODUCTION

L'arboriculture fruitière fait partie intégrante de la vie économique et sociale à travers le monde entier. Les agrumes, en particulier, ont une grande importance dans le développement économique et social des pays producteurs. Ils constituent les produits d'exportation et de transformation en divers dérivés tels que les jus, confitures, essences, comme ils peuvent être une source d'emploi [1].

Citrus est un genre de plantes à fleurs appartenant à la famille des Rutaceae. Il est originaire d'Australie, de Nouvelle-Calédonie, et de la Nouvelle-Guinée [2]. Les agrumes fournissent un approvisionnement abondant en vitamine C, de l'acide folique, des minéraux, des fibres et en divers composés phytochimiques tels que les caroténoïdes, les flavonoïdes, et les limonoïdes, qui présentent d'énormes avantages pour la santé. Ils ne contiennent ni graisse ni cholestérol et ont une faible teneur en sodium [3]. Les agrumes sont les fruits les plus produits dans le monde, avec plus de 146 866 263 tonnes d'oranges chaque année. La Chine est le plus grand producteur d'agrumes au monde avec un volume de production de 41 905 490 tonnes d'orange par an, le Brésil arrive en deuxième position avec 19 273 659 tonnes de production annuelle et l'Inde, classée en troisième position, avec une production de

12 546 000 tonnes, le Mali a une production annuelle de 339 198 tonnes selon le classement Mondiale [4]. La production d'agrumes est cependant menacée par la maladie du chancre bactérien [5]. L'agent causal est *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (*Xcc*). Les symptômes comprennent des taches sur les feuilles, le blanchiment de l'écorce des fruits, la défoliation, le dépérissement des pousses et la chute des fruits dans des conditions environnementales favorables à la prolifération du pathogène. Cette maladie est la cause principale de la baisse des rendements de production et rend les Oranges affectés inacceptables sur le marché [6]. Cette maladie a un impact économique sérieux sur la production d'agrumes dans le monde entier [7].

C'est une maladie apparue récemment dans la région du Sahel. Cette maladie bactérienne a été décrit au Sénégal, au Niger et au Mali [8]. De nombreuses méthodes de contrôle ont été tentées pour lutter contre la maladie en déracinant et en brûlant tous les agrumes connus ou suspectés d'être infectés par le pathogène [5].

Dans une étude récente, 72 % des souches de *Xcc* isolées sur l'île de Jeju, République de Corée se sont révélées résistantes à la [9]. La culture de variétés d'agrumes résistantes au chancre des agrumes est un

moyen efficace et écologique de lutter contre la maladie. Cependant le développement de variétés résistantes à la maladie prend du temps, est laborieux et n'est pas largement disponible. Par conséquent, il n'est ni pratique ni commode comme méthode de lutte contre le chancre des agrumes. Pour une production durable d'agrumes, des techniques plus efficaces et durables sont nécessaire pour lutter contre le chancre des agrumes.

Dans cette étude, les *Bacillus thuringiensis* à activité PGP sélectionnés de la collection du LaboREM-Biotech ont été évalués pour leur efficacité contre la maladie du chancre des agrumes *in vitro*. L'efficacité antibactérienne était testée en utilisant quatre souches du chancre bactérien de citrus *X.sinensis*. Les objectifs de cette recherche étaient de (1) Isoler les bactéries responsables du chancre à partir des feuilles, des rameaux et des fruits d'oranger infestés ; (2) Caractériser le *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Xcc) isolées, responsable du chancre et (3) Déterminer l'activité antagoniste de Bts sélectionnés contre le *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Xcc) responsable du chancre. Une recherche sérieuse est nécessaire pour trouver des méthodes alternatives de protection des végétaux, notamment les arbres fruitiers contre ces microorganismes d'où la présente étude intitulée « Sélectionner les bactéries à activité antagonistes contre *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Xcc) responsable du chancre bactérien de *Citrus x sinensis* d'un verger à Banco Koura dans la commune de sanakoroba ».

Les objectifs étaient :
Objectifs Général : Contrôler parmi les microorganismes de la collection du LaboREM des *Bacillus* à activité antagonistes contre *Xanthomonas citri* subsp. *citri* responsable du chancre bactérien de l'oranger.

Objectifs spécifiques :

- Isoler les bactéries responsables du chancre à partir des feuilles, des rameaux et des fruits d'oranger infestés.
- Caractériser *Xanthomonas citri* subsp. *citri* isolées, responsable du chancre.
- Déterminer des bactéries *thuringiensis* à forte activité antagoniste de la collection du laboratoire contre le *Xanthomonas citri* subsp. *citri* responsable du chancre

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Matériel biologique :

- Feuille, tige, rameaux et fruits d'orange infecté ;
- Souches bactériennes de la collection du LaboREM-Biotech.

Ces différentes souches bactériennes ont été choisi de la collection du laboratoire parce qu'ils ont été testés contre certains microorganismes pathogènes

mais pas contre le *Xanthomonas citri* subsp. *citri*.

Tableau 1: Liste des bactéries à activité antagoniste sélectionnés

Bactéries antagonistes	Code	Origine
<i>Bacillus thuringiensis</i> (<i>Bt</i>)	B9G	Sol (Badalabougou)
<i>Bacillus thuringiensis</i> (<i>Bt</i>)	DL1	Sol (Dilly)
<i>Bacillus</i> sp.	OP6	Sol (Diré)

Méthodes

Echantillonnage

L'échantillonnage a été fait dans le verger présentant les symptômes du chancre bactérien ; il a été réalisé à l'aide d'un sécateur désinfecté à l'alcool 70° après chaque usage. Le prélèvement a été fait à partir de plusieurs organes des plantes infectés et espacés (feuilles, rameaux et fruits). Les échantillons ont été placés dans différents sacs en papier stérile et étiquetés pour chaque espèce et variété (oranger), puis ils ont été transportés directement au Laboratoire, puis conservés à 4°C avant l'analyse.

Isolation du pathogène :

Préparation des macérâtes

Pour l'isolement du pathogène, les rameaux, les feuilles et fruits prélevés ont été premièrement désinfectées superficiellement à l'aide du chlormine T à 2 % puis du coton imbibé d'éthanol à 70°. Les rameaux, les feuilles et les fruits désinfectées ont été découpés en petits segments à l'aide d'un ciseau désinfecté. Ces segments ont été mis en suspension dans des tubes contenant de l'eau distillée stérile, Cela a permis d'obtenir un macérât après un repos de 10 à 20 min ; cette étape a été appliquée à tous les autres échantillons prélevés.

ensemencement des macérâtes

A partir de ce macérât (considéré comme suspension mère) de chaque échantillon, 100µl a été ensemencé par également en surface sur le milieu semi-sélectif de King B, puis les segments de chaque organe ont été également déposés à la surface des milieux de culture contenant dans des boites de Pétri. Par la suite, les boites ensemencées ont été retournées, puis incubé à 27°C pendant 3-5 jours. Chaque échantillon a été analysé en duplicata pour augmenter la probabilité d'isoler l'agent pathogène. Après l'incubation les colonies présentant des caractères culturaux de la bactérie pathogène ont été purifiée par repiquage sur le milieu LPGA par la méthode des 3 quadrants, puis incubé de nouveau à 27°C pendant 3-5 jours. Les colonies présentant l'aspect typique de *Xanthomonas* sp. ont été sélectionné puis conservées.

Test de pathogénicité

Les différents isolats retenus après purification, ont été testés sur les feuilles d'oranger saines afin de vérifier la pathogénicité par le test de postulat de Koch. Ce test a été élaboré en prenant par emporte-pièce l'isolat bactérien et déposer sur les feuilles

jeunes d'oranger et incubé à la température ambiante du laboratoire pendant deux semaines (14 jours). Les différents isolats présentant la nécrose sur les feuilles saines ont été sélectionnés.

Test de pathogénicité

Les différents isolats retenus après purification, ont été testés sur les feuilles d'oranger saines afin de vérifier la pathogénicité par le test de postulat de Koch. Ce test a été élaboré en prenant par emporte-pièce l'isolat bactérien et déposer sur les feuilles jeunes d'oranger et incubé à la température ambiante du laboratoire pendant deux semaines (14 jours). Les différents isolats présentant la nécrose sur les feuilles saines ont été sélectionnés.

Identification phénotypique de l'agent pathogène

L'identification phénotypique de l'agent pathogène a été basé principalement sur la caractérisation morphologique (aspect macroscopique et microscopique) et biochimique de la souche.

Aspect macroscopique

Elle consiste à observer à l'œil nu ou à la loupe binoculaire l'aspect morphologique. Cette observation macroscopique est basée sur l'aspect, la taille, la couleur et la consistance des colonies sur le milieu LPGA. Les colonies présentant l'aspect circulaires, convexes à bord régulier, mucoïdes et d'un jaune crémeux (caractères morphologiques) ont été sélectionnées [10].

Aspect microscopique

La technique de coloration de Gram a été utilisée selon la méthode classique. L'aspect morphologique des bactéries a été observé avec un microscope optique. [11], [12], Du prélèvement à la caractérisation des souches In : Bactériologie médicale Techniques usuelles, 3e édition Elsevier Masson SAS, p. 20.).

-Test à la potasse (KOH) : C'est un test rapide et alternatif à la coloration de Gram qui permet l'identification de type Gram en utilisant des gouttes de KOH 3% sur la bactérie à tester [13]. Sous microscope la formation d'un filament (mélange visqueux) est observée dans le cas des bactéries Gram-, et l'absence de filament dans le cas de bactéries Gram+.

La caractérisation biochimique

Test de la catalase

Ce test a permis de mettre en évidence les bactéries qui possèdent la catalase. Une colonie jeune de souche bactérienne a été déposée sur une lame propre contenant une goutte d'eau oxygénée. La présence de catalase se traduit par l'apparition d'une effervescence due à un dégagement d'oxygène cela traduit catalase positive (catalase +) et l'absence de bulles correspond à la catalase négative [14].

Test de fluorescence

Les cultures bactériennes en boite de Pétri du milieu B de King ont été observées sous une lampe de Wood émettant une lumière ultraviolette ayant une longueur d'onde de 360 - 375 nm ; afin de noter la

présence ou l'absence de pigments fluorescents bleus ou verts qui a permis la mise en évidence de la pyoverdine des Pseudomonas du groupe fluorescent [15]. Les bactéries pathogènes des plantes qui ont produit une variété de couleurs et de pigments, ont été leur caractéristique.

Test Hugh et Leifson (Oxydation/Fermentation).

Le milieu de Hugh et Leifson contient un indicateur de pH qui a permis de déterminer la voie métabolique empruntée par les différentes espèces bactériennes. Ce test a permis de déterminer si le métabolisme du glucose est oxydatif ou fermentatif. A l'aide d'une anse de platine stérilisé, une jeune colonie a été prélevée à partir de l'isolat bactérien qui a été ensuite ensemencée par pique centrale dans deux tubes à essai gélosés contenant le milieu Hugh et Leifson. Les deux tubes ont été incubés à une température de 26°C pendant 24h. L'un des deux tubes a été recouvert de 1 à 1,5 cm d'huile de vaseline stérile pour créer la condition d'anaérobiose et l'autre a été resté en condition d'aérobiose. Le résultat positif a été traduit par le virage de l'indicateur bleu de bromothymol au jaune. Lorsque les deux cultures ont été une acidification rapide et égale et virent au jaune, la bactérie a été dite « fermentative ». Si, par contre, la coloration jaunâtre a été produit uniquement dans les cultures soumises aux conditions d'aérobiose, la bactérie est dite oxydative [16]. Les bactéries dégradant le glucose de manière oxydative ont provoqué l'acidification lente du milieu dans le tube sans vaseline. Or, dans le tube vaseliné elles ne peuvent pas se développer [17].

Test de Levane

Ce test a permis de vérifier la polymérisation du fructose en poly-fructose par la bactérie. A l'aide de l'anse à inoculation, l'ensemencement d'une colonie bactérienne jeune a été fait par une série de stries sur une boite de Pétri contenant le milieu levane solide, puis incubées à 26 ° C pendant 3 à 5 jours. L'apparition d'une culture blanche, abondante, bombée, muqueuse, convexe, luisante et brillante indique que la bactérie possède une levane sucrase positif [18].

Degréation du Tween 80.

A l'aide d'une anse, l'ensemencement d'une colonie bactérienne jeune a été fait par un dépôt central sur une boite de Pétri contenant le milieu de solide, puis incubées à 30 ° C pendant 24 à 48 heures. En cas de réaction positive, il se forme un halo opaque autour de la strie hydrolysant le Tween 80, dû à la précipitation des acides gras [19].

Test d'hydrolyse de l'amidon

La détection de la production de l'amylase, s'est réalisée en utilisant de la gélose nutritive additionnée de 0.2% d'amidon soluble, les souches bactériennes ont été inoculées au centre des boites de Pétri, après une incubation de 48 heures à 37°C, la révélation se fais par une inondation de la boite de Pétri avec une solution d'iode [20]. La présence d'une zone claire

autour des colonies indique la capacité d'hydrolyse de l'amidon tandis que la couleur bleue indique une incapacité à dégrader l'amidon. L'activité amylotique est évaluée par la mesure des diamètres des zones d'hydrolyses formées autour de la colonie ensemencée par strie [21].

$$\text{Index d'Activité amylotique} = \frac{D(\text{Zone}) - D(\text{colonie})}{D(\text{Zone})}$$

D=Diamètre

Hydrolyse de l'esculine

Ce test a été réalisé sur le milieu gélosé contenant la bile à esculine par un dépôt central sur la boîte. Après incubation à 30 °C pendant 24 heures, l'hydrolyse libère l'aglycone qui a été décelé par une réaction chimique en présence de sel de fer et donne une couleur noire au milieu de culture [22].

Détermination de l'activité protéolytique : recherche de la caséinase

L'hydrolyse de la caséine a été étudiée sur un milieu gélosé contenant 5% de lait écrémé.

Après 48 heures d'incubation à 30°C, la présence de cette activité a été détectée par un halo clair autour de la strie indiquant l'hydrolyse de la caséine, cependant un résultat négatif ne montre aucune zone d'hydrolyse autour de la culture [23].

Dégénération de la Gélatine

La production de la gélatinasse par les bactéries a également été étudié selon la méthode [23]. 4g de gélatine ont été ajouté à 100 ml de gélose nutritive. Le réactif de frazier a permis de mettre en évidence la dégradation par l'apparition d'une auréole claire des colonies.

Croissance bactérienne sur milieu azotés

La croissance des différentes souches a été réalisées sur le milieu MB contenant respectivement la méthionine, la cystéine, l'asparagine et du chlorure de triphénol tétrazolium

(TTC) à 0,02% (poids/volume), utilisés comme source d'azote.

*Sélection des souches antagonistes (bio-inoculant) vis-à-vis du pathogène bactérien (*Xanthomonas sp.*)*

- Préparation de l'inoculum

Les bactéries *thuringiensis* (*Bts*) de la banque de souches du LaboREM-Biotech et les pathogènes retenus ont été utilisés dans cette étude. L'activité antagoniste de ces *Bts* contre les différents isolats pathogènes a été déterminée, selon la technique de diffusion décrite par [24]. Des inocula ont été préparé sur gélose nutritive à partir des différentes souches pathogènes retenus (*Xanthomonas sp.*) à partir d'une culture bactérienne de 24 heures. La densité cellulaire de chaque inoculum a été ajustée par dilution dans de l'eau physiologique stérile, comparée de visu avec la solution Mc Ferland, ce qui correspond à une concentration finale de 10⁸ ufc/ ml.

- L'ensemencement

La revivification des souches de *Bts* sélectionnées pour le test d'antagoniste a été faite par ensemencement en stries serrées sur milieux LB

solide et incubé à 28°C, puis sur le même milieux liquide sous agitation pendant 72 heures.

- Préparation des disques d'antibiogramme

Des disques d'antibiogramme vierge ont été imprégner dans le milieux liquide contenant les bactéries test (*Bts*), puis déposés à la surface du milieu Muller-Hinton préalablement ensemencé par les bactéries pathogènes. Les boites de Pétri ont été ensuite placées à 4°C pendant deux à quatre heures pour permettre une diffusion des substances actives puis elles ont été incubées à la température de 37 °C pendant 24 heures.

- Lecture

La lecture des résultats a été faite par la mesure du diamètre d'inhibition, caractérisé par une zone n'ayant aucune croissance bactérienne autour du disque à l'aide d'un pied de coulisse ou règle en (mm). Les résultats ont été exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition et qui a été symbolisé par des signes d'après la sensibilité des souches vis-à-vis des souches antagonistes (*Bts*) [25].

- Non sensible (-) ou résistante : diamètre < 8 mm.
- Sensible (+) : diamètre compris entre 9 à 14 mm.
- Très sensible (++) : diamètre compris entre 15 à 19 mm.
- Extrêmement sensible (+++) : >20mm.

RÉSULTATS

Caractère morphologique du pathogène

- Caractère macroscopique

Après deux jours d'incubation, le test de la caractérisation macroscopique, a montré des colonies circulaires, convexes à bord régulier, mucoïdes, bombés et d'un jaune crémeux (caractères morphologiques) sur les milieux LPGA et King B. Quatre isolats présentant l'aspect caractéristique de *Xanthomonas campestris* pv citris ont été retenus puis purifié (figure 1).



Figure 1 : Observation macroscopique XccM2 de *Xanthomonas sp.*



Figure 2: Observation microscopique de XccM2 de

Xanthomonas sp



Figure 3: Nécrose de XccFM1 et XccM2 sur les feuilles d'Oranger avec : A: témoin, B : XccM2, C : XccFM1

Tableau 2: Résultat de l'observation microscopique des isolats et du test de KOH

Isolats Bactérien	Coloration Gram	Test de KOH	Origine
XccFM1	-	+	Feuille de Mandariner
XccM2	-	+	Feuille de Oranger variété Miva
XccFO3	-	+	Feuille de Oranger
XccFO4	-	+	Feuille de Oranger

Tableau 3: Résultat du test de production de la catalase, d'oxydase et de pigments fluorescents

Isolats	Résultats des tests de la catalase, d'oxydase et de fluorescence		
	Catalase	Oxydase	Production de pigments fluorescents
XccFM1	+	+	-
XccM2	+	+	-
XccFO3	+	+	-
XccFO4	+	+	-

Tableau 4: Voie d'utilisation du glucose

Isolats	Résultat de la voie d'utilisation du glucose		
	Oxydative	Fermentative	Production de gaz
XccFM1	+	+	-
XccM2	+	+	+
XccFO3	+	+	-
XccFO4	+	+	-

Tableau 5: Production de la lipase, de l'esculinase, de la caséinase et de la levane

Souches	Résultats du test de la lipase, de l'esculinase, de la caséinase et de la levane				
	Lip	Escu	Gél	Cas	Lev
XccFM1	+	+	+	+	+
XccM2	+	+	+	+	+
XccFO3	+	+	+	+	+
XccFO4	+	+	+	+	+
Témoin	-	-	-	-	-

- Caractère microscopique

L'observation microscopique a montré que tous les isolats retenus après coloration Gram étaient négatif (confirmé par le test de KOH) et de forme de bâtonnet (Tableau II ; figure 2).

La pathogénicité :

Le test de pathogénicité à l'aide des différents isolats retenus a montré une nécrose sur les feuilles saines au laboratoire. Cette nécrose était très forte avec XccM2 provenant des Feuille d'Oranger variété Miva. Les différents résultats obtenus sont représentés par la figure 3.

Caractères biochimiques des différents pathogènes isolés.

- Production de catalase : présence d'une effervescence due à un dégagement d'oxygène La bactérie contient l'enzyme qui active la dégradation du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en O_2 .
- Production d'oxydase : test positif production de l'enzyme oxydase intercellulaire par les bactéries testées.
- Production de pigment fluorescent : Pas de fluorescence à 365 nm, sous la lumière Ultra-Violet.

Les résultats sont consignés dans le tableau III.

- Test Hugh et Leifson (Voie d'utilisation du glucose : Oxydation / Fermentation)

Ce test a montré qu'avec les souches XccFO4 et XccM2 il y a acidification dans les deux tubes : métabolisme fermentatif et oxydatif du glucose, il y a une acidification modérée dans les deux tubes avec la souche XccFM1 : métabolisme fermentatif et oxydatif du glucose et avec la souche XccFO3 pour le tube avec huile de vaseline (anaérobiose) il y a une acidification modérée ; dans le tube sans huile de vaseline (aérobiose), il y a une acidification : métabolisme fermentatif et oxydatif du glucose (Figure 14), les résultats sont consignés dans le tableau IV.

- Test de Production de la lipase, de l'esculinase, de la caséinase et de la levane

La Production de ces différentes enzymes sont consignés dans le Tableau V. Avec : Lip : Lipase; Esc: Escluinase ; Gél : Gélatinase; Cas : Caséinase ; Lev : Levane.

- Test de Production de l'amylase :

L'index d'activité amylolytique des différentes souches du genre *Xanthomonas sp*. sont consignés dans le tableau

- La croissance des souches retenues sur milieu azoté :

Ce test montre que toutes les souches retenues utilisent la cystéine, la méthionine, mais n'utilisent pas l'asparagine et du chlorure de triphényl tétrazolium sur le milieu MB les résultats sont consignés dans le (tableau 6).

quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l'arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l'arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck *et al.* 2013). Malheureusement, ces produits font face à d'importantes contaminations avec les mycotoxines.



Figure 4: Strie saillante et luisante d'une colonie bactérienne sur milieu levane positif

quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l'arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l'arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck *et al.* 2013). Malheureusement, ces produits font face à d'importantes contaminations avec les mycotoxines.

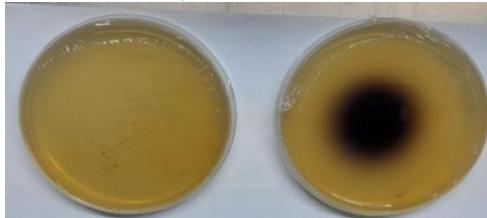


Figure 5: Production d'esculinase des Xcc retenus

quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l'arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l'arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck *et al.* 2013). Malheureusement, ces produits font face à d'importantes contaminations avec les mycotoxines.

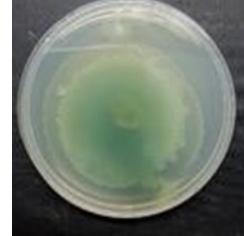


Figure 6: Production de lipase des Xcc retenus sur milieu Tween 80

quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l'arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l'arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck *et al.* 2013). Malheureusement, ces produits font face à d'importantes contaminations avec les mycotoxines.



Figure 7: Production de la caséinase

quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l'arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l'arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck *et al.* 2013). Malheureusement, ces produits font face à d'importantes contaminations avec les mycotoxines.



Figure 8: Voie d'utilisation du glucose par les isolats retenus (1 : aérobiose ; 2 : anaérobiose)

Tableau 6: Présentation des résultats de l'index d'activité amylolytique des souches du genre Xanthomonas

Souches	Résultats de l'index d'activité amylolytique			
	Amylase	Diamètre de la colonie (cm)	Diamètre de la zone de dégradation (cm)	L'index d'activité amylolytique
<i>XccFMI</i>	+	1	1,4	0,28
<i>XccM2</i>	+	1,2	3,3	0,63
<i>XccFO3</i>	+	1,6	2,1	0,25
<i>XccFO4</i>	+	2,3	3	0,23
Témoin	-	00	00	00

Tableau 7: Résultat de l'activité antagoniste des souches sélectionnées

Souches	Résultats des souches retenues sur milieu azoté			
	Méthionine	Cystéine	Asparagine	Chlorure de triphényl tétrazolium
<i>XccFM1</i>	+	+	-	-
<i>XccM2</i>	+	+	-	-
<i>XccFO3</i>	+	+	-	-
<i>XccFO4</i>	+	+	-	-
Témoin	-	-	-	-

Souches antagonistes	Pathogènes	Sensibilité	Diamètre d'inhibition Ø (mm)
B9G	<i>XccFM1</i>	Extrêmement sensible (D>20mm)	30
	<i>XccM2</i>	Extrêmement sensible (D>20mm)	50
	<i>XccFO3</i>	Extrêmement sensible (D>20mm)	28
	<i>XccFO4</i>	Extrêmement sensible (D>20mm)	27,8
	Témoin	Résistante (D<8 mm)	00
DL1	<i>XccFM1</i>	Sensible (9< D <14 mm)	12
	<i>XccM2</i>	Très sensible (15 < D <19 mm)	15
	<i>XccFO3</i>	Sensible (9 < D <14 mm)	14
	<i>XccFO4</i>	Sensible (9 < D <14 mm)	14,1
	Témoin	Résistante (D<8 mm)	00
OP6	<i>XccFM1</i>	Résistante (D<8 mm)	00
	<i>XccM2</i>	Résistante (D<8 mm)	00
	<i>XccFO3</i>	Résistante (D<8 mm)	00
	<i>XccFO4</i>	Résistante (D<8 mm)	00
	Témoin	Résistante (D<8 mm)	00

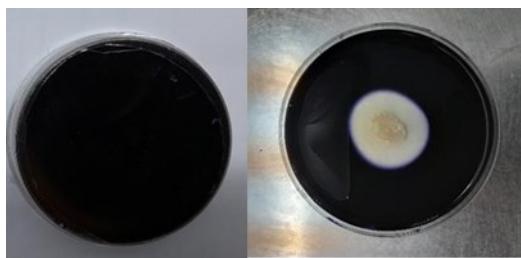


Figure 9: Production d'amylase

quantifier la contamination par les aflatoxines dans les céréales. Le riz, le maïs, l'arachide et le haricot sont devenus des produits hautement stratégiques et prioritaires pour la sécurité alimentaire en Afrique. Au Mali, la consommation du maïs, du haricot et de l'arachide augmente plus rapidement que celle de tout autre élément majeur du continent en raison de la forte croissance de la population, une urbanisation rapide et des changements dans les habitudes alimentaires (Seck et al. 2013). Malheureusement, ces produits font face à d'importantes contaminations avec les mycotoxines.



Figure 10 : Effet des souches antagonistes vis-à-vis du *Xanthomonas* sp. phytopathogène isolé

Effet des souches antagonistes vis-à-vis du *Xanthomonas* sp. Phytopathogènes isolé.

Les souches de *Bacillus thuringiensis* B9G et DL1 ont montré une très forte activité antagoniste sur toutes les souches de *Xanthomonas* sp. isolées de l'oranger. La figure 10 représente l'activité antagoniste des deux souches de Bts sélectionnées (B9G et DL1) contre *Xanthomonas* sp. isolées après 24h d'incubation. Les résultats du test de l'activité antagoniste est consigné dans le tableau 7.

DISCUSSIONS

L'analyse biochimique a montré que tous les quatre isolats retenus étaient d'oxydase et de catalase positive. Ils dégradaient le glucose par voie oxydative et fermentative avec dégagement de gaz. Ils ont montré aussi une production de lipase, de l'esculinase, de la caséinase, de la levane et l'amylase. Les isolats ont également présenté une croissance sur le milieu MB contenant la méthionine, la cystéine, mais pas l'asparagine ni le chlorure de triphényl tétrazolium. Les résultats obtenus après le test biochimique ont été confirmés par [25] ; lors des travaux d'identification de la maladie du chancre bactérien des agrumes (CBCD) causée par *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Xcc) dans deux régions(Nord et Sud de Khartoum ; puis Nord et Sud de Sawagi) de production par excellence au Soudan. Les souches de *Bacillus thuringiensis* B9G et DL1 ont montré une très forte activité antagoniste sur toutes les souches de *Xanthomonas* sp. isolées de citrus x sinensis. Nos résultats ont montré que le Bt B9G présentait une activité extrêmement sensible, avec un diamètre d'inhibition (\varnothing) se situant entre 27,8 et 50 mm sur toutes les souches de *Xanthomonas* sp. isolées de citrus x sinensis ; tandis que le Bt DL1 présentait une activité très sensible sur le pathogène XccM2 et sensible sur les trois autres, dont le diamètre d'inhibition (\varnothing) est compris entre 12 et 15 mm. [27] lors de leurs travaux au Corée du Sud de lutte biologique contre la maladie du chancre des agrumes causés par *Xanthomonas citri* subsp. agrumes ont isolés 134 des bactéries endophytes de diverses plantes gymnospermiques et angiospermiques. La caractérisation de ces différentes bactéries endophytes et leurs activités

antagonistes contre trois espèces sauvages et six souches Xcc résistantes à la streptomycine a révélé une réponse prometteuse. TbL-22 et TbL-26, tous deux identifiés plus tard comme *Bacillus thuringiensis*, inhibe toutes les souches Xcc sauvages et résistantes. TbL-22 a exercé l'activité antagoniste la plus élevée contre XccW3 et XccM6 avec des zones d'inhibition de $20,64 \pm 0,69$ et $19,91 \pm 0,87$ mm, respectivement. De même l'acétate d'éthyle l'extrait de Tbl22 a montré les zones d'inhibition les plus élevées $15,31 \pm 2,08$ et $19,37 \pm 3,17$ mm contre XccW3 et XccM6, respectivement. TbL-22 a réduit l'incidence du chancre sur les feuilles infectées de 64,05 % par rapport aux témoins positifs. Ces résultats obtenus par Islam et ses collaborateurs sont très conforme à nos travaux vis-à-vis des agents antagonistes utilisés et leurs actions contre le pathogène. Mais les Bts utilisés pendant nos activités présentaient des diamètres d'inhibition (\varnothing) nettement supérieur à leurs résultats. Cet écart peut s'expliquer par des différences de la quantité, la stabilité et le taux de diffusion des métabolites sécrétée par TbL-22 et TbL-26 par rapport à nos souches antagonistes (Bt B9G et DL1) utilisées. Cette différence de résultats peut s'expliquer par la technique de l'activité antagoniste utilisées. Lors de nos travaux, c'est la méthode de disques imprégnés du surnageant qui a été réalisée ; par contre [27] ont utilisés la méthode de puits et le surnageant a été recueilli, mélangé avec des volumes égaux d'acétate d'éthyle et incubé pendant la nuit. L'acétate d'éthyle a été sélectionné pour la procédé d'extraction de métabolites pour son point d'ébullition bas et polarité modérée. Les toxines produites par *Bacillus* constituerait une méthode de lutte biologique alternative qui respecte l'environnement [28].

CONCLUSION

Cette activité a permis d'isoler quatre pathogènes bactériens des différents organes infectés d'oranger, responsables du chancre bactérien. La caractérisation morphologique et biochimique à révéler que tous les pathogènes retenus correspondaient au profil de *Xanthomonas citri* subsp. *citri* (Xcc). Les souches de *Bacillus*

thuringiensis B9G et DL1 à activité PGP ont été déterminés au laboratoire comme étant des antagonistes très efficaces contre les pathogènes isolés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Loussert R. Les agrumes, arboricultures. Ed. Mkalles–Mar Roukoz. Liban. Technique scientifique universitaire. 1987; 113 p.
- LiuY Q., Heying E. and Tanumihardjo S. A. History, global distribution, and nutritional importance of citrus fruits. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2012, 11 :530-545.
- Fatima, H., et Fadila, L. Étude phytochimique et pouvoir antioxydant de l'écorce d'orange et de citron. *Mémoire de master en sciences de la nature et de la vie*. 2018.
- AtlasBig « Production mondiale d'orange par pays »). 2021 Bénédicte et Bachès M. Agrumes. Ed. Ulmer, Paris. 2002; 96 p.
- Gottwald T. R., Hughes G., Graham J. H., Sun X. and Riley. The citrus canker epidemic in Florida: the scientific basis of regulatory eradication policy for an invasive species. *Phytopathology*. 2001; 91:30-34.
- Das A. K. Citrus canker: a review. *J. Appl. Hortic.* 2003, 5 :52-60.
- Jalan N., Kumar, D., Yu, F., Jones, J. B., Graham, J. H. and Wang, N. Complete genome sequence of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* strain Aw12879, a restricted-host-range citrus canker-causing bacterium. *Genome Announc.* (2013)1 : e00235-13.
- Adamou B., Adamou H., Koura A.A. and Delmas P. Alerte une nouvelle maladie sur les agrumes au Niger. Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger Note d'information / Traitements phytosanitaires et ravageurs 2014 ; n°6.
- Hyun J.-W., Kim H.-J., Yi, P.-H., Hwang, R.-Y. and Park, E.-W. Mode of action of streptomycin resistance in the citrus canker pathogen (*Xanthomonas smithii* subsp. *citri*) in Jeju Island. *Plant Pathol. J.* 2012, 28:207-211.
- Rampersad J. and Ammons D. Usefulness of staining parasporal bodies when screening for *Bacillus thuringiensis*. *J. Invertebr. Pathol.* 2002; 79: 203-204.
- Douey D., Iugovaz I. "Isolement et numération de *Bacillus Cereus* dans les aliments" Direction Générale des produits de santé et des aliments », Ottawa, MFLP 2003 ; 13 p.
- Lanotte P., Isnard C., Garnier F., Mereghetti L. Du prélèvement à la caractérisation des souches In : Bactériologie médicale Techniques usuelles, 3e édition Elsevier Masson SAS, 2016a p. 20.
- Suslow T.V., Schroth M.N., Rhizobacteria of sugar beet: Effects of seed application and root colonization on yield. *Phtopathol.* 1982; 72:199-206.
- Harley J.P., Prescott L.M. Laboratory Exercises in Microbiology 2002; 5th Ed., 449P.
- Lelliott RA., Billing, E. et Hayward AC. A determinative scheme for the fluorescent plant pathogenic Pseudomonads. *Journal of applied Bacteriology*. 1966 ; 29 : 470-489.
- Hugh R. and Leifson E. The taxonomic significance of fermentative versus oxydative metabolism carbohydrates by various Gram-negative bacteria. *J. Bacteriol.* 1953; 66, 24-26.
- Marshall, VM, Cole, WM et Vega, JR. Un produit de type yaourt fabriqué en fermentant du lait ultrafiltré contenant des protéines de lactosérum élevées avec *Lactobacillus acidophilus*. *Journal of Dairy Research* 1982 ; 49 (4), 665-670.
- Moloto, VM, Goszcynska, T., Du Toit, LJ, and Coutinho, TA. Un nouveau pathovar de *Pseudomonas syringae*, pathovar allii, isolé à partir de plants d'oignon présentant des symptômes de brûlure. *Revue européenne de pathologie végétale* , 147 , 591-603.
- Ramnath L., Sithole B., Govindena R., Identification of lipolytic enzymes isolated from bacteria indigenous to Eucalyptus wood species for application in the pulping industry, *Biotechnology Reports*, 2017; 15: 114-124.
- Gopinath S. C. B., Periasamy Anbu M. K., Arshad M. D., Thangavel L., Voon C. H., Hashim U., Chinni S. V., Biotechnological Processes in Microbial Amylase Production: a review, *BioMed Research International*, 2017; pages 9.
- Izyan, N. S., Azman, D. N., Mohd Saad, N. A., Sauid, S. M., and Hamzah, F., Effect of *Tacca* Starch Loading on Production of Amylolytic Enzymes from Ragi Tapai, *Materials Science Forum*, 2020; 987: 118-123.
- Kassogué, A., Maiga, K., Traoré, D., Dicko, AH, Fané, R., Gissou, T., ... & Babana, A. Isolement et caractérisation de souches de *Bacillus thuringiensis* (Ernst Berliner) indigènes des sols agricoles du Mali, 2015.
- Carrim A. J. I., Barbosa E. C., Gonçalves V. J. D., Enzymatic activity of endophytic bacterial isolates of Jacaranda decurrens Cham. (Carobinha-do-campo), *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(3), 2006 p. 353-359.
- Ababsa A. Recherche de bactériocines produites par les bactéries lactiques du lait. Thèse de doctorat, Université de Ferhat Abbas-Setif, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. 2017 ; 111 p.
- Hamid E.A., Siddig Mohamed Elhassan S.M. and Abbo A.S.H. Citrus Canker in Sudan: Etiology and Epidemiology. *Agricultural Research and Technology Open Access Journal; Research Article Volume 25 Issue 4 (2021)- March DOI:10.19080/ARTOAJ.2021.25.556313.*
- ANSES. Détection de *Xanthomonas citri* pv. *citri* et *Xanthomonas citri* pv. *aurantifoli* sur plantes hôtes de la famille des Rutacées par PCR et par isolement, suivie d'une identification par PCR des souches isolées. Méthode d'analyse en santé des végétaux ; RÉFÉRENCE : ANSES/LSV MA 068 (2022) - Version 1 consultation.
- Islam, M. N., Ali, M. S., Choi, S. J., Hyun, J. W., & Baek, K. H. Biocontrol of citrus canker disease caused by *Xanthomonas citri* subsp. *citri* using an endophytic *Bacillus thuringiensis*. *The plant pathology journal*, 2019 ; 35(5), 486.
- Ouattara, D., Dao, S., Dicko, AH, Kassogué, A., Nantoumé, D., Mallé, I., ... & Babana, AH. Une bactérie endophage des graines de riz malienne contrôle efficacement la croissance de *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae* et *Xanthomonas oryzae* pv *oryzicola*. *Journal sud-asiatique de recherche en microbiologie* , 2023; 17 (2), 1-9.

Caractérisation Morphométrique et Génétique Préliminaire des Espèces de *Clarias* du Lac Magui

* Ramata DIOP*, Youssouf SANOGO, Adama KONATE, Nanourou DEMBELE, Seydou KONE, Drissa KONATE, Oumar OUATTARA, Sognan DAOU, Rokiatou FANE, Fassé SAMAKE, Abdoulaye SY, Kadiatou TRAORE

Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

*dioprama800@gmail.com

RESUME : Le Lac Magui est une cuvette qui abrite une diversité de poisson dont les *Clarias*. Qui jouent un rôle important dans la pisciculture au Mali. De ce fait la caractérisation morphométrique et génétique permettra une gestion rationnelle de l'espèce d'où l'objectif de la présente étude. Au total, 42 échantillons de poissons appartenant au genre *Clarias* ont été collectés puis identifiés. Ils ont fait l'objet de mensurations portant sur 17 variables métriques du corps. Les données ont été traité à l'aide des logiciels Excel, past spss. Les marqueurs cga02, cg03, cga06, cba11, cba19, cba20 et cm12, cm17 ont été utilisé pour l'étude de la diversité génétique. Trois (3) espèces ont été identifiées sur la base de la plaque dentaire vomérienne : *Clarias gariepinus* *Clarias sp* et *Clarias anguillaris*. L'analyse en composante principale des variables métriques du corps montre que la discrimination entre les espèces se fait principalement à partir de du diamètre de l'œil, la longueur du museau de la nageoire anale caudale et la longueur standard (variance = 76,29%). Toutes les espèces ont présenté une même moyenne de facteur de condition. Le maximum a été observé chez *Clarias anguillaris*. Une corrélation entre le poids et la taille a été observé chez les différentes espèces de *Clarias*. *Clarias anguillaris* et *Clarias gariepinus* ont présenté une croissance positive cependant *Clarias sp* a présenté une croissance négative. Avec l'usage de huit (8) marqueurs microsatellites trente un allèle (31) ont été observé avec un nombre d'allèle moyen de 3 ,77. Certain loci ont montré une différence entre les espèces et un écart significatif à l'équilibre de Hardy- Weinberg, à l'exception du loci Cm17, Cba11 et Cba20 qui vérifient aussi bien l'équilibre chez toutes les espèces.

Mot clés : : *Clarias*, variabilité morphométrique, diversité génétique, Lac Magui, Mali.

INTRODUCTION

Le Lac Magui situé à Kayes, première Région administrative de la République du Mali. Ce site naturel est une cuvette d'une superficie de 24 740 hectares dont le trajet en méandre s'étend sur 78 km de long et 15 km de large. Il constitue l'unique réservoir naturel pour l'abreuvement du cheptel domestique et transhumant de la Région de Kayes. Les activités agricoles se pratiquent en période de décrue sur les surfaces planes inondables. La pêche se pratique de façon artisanale et constitue l'activité de prédilection des populations riveraines [1]. Ce Lac abrite une diversité de poisson à valeur marchande qui ne sont pas valorisée tel que les Orechromises, Labeo, bagrus, heterotis, *Clarias* etc... En revanche aucune étude n'a été faite sur la structure de la population des *Clarias* de ce Lac qui est une espèce utilisée en pisciculture.

Une meilleure connaissance des caractères morphologique et génétique des espèces de *Clarias* de ce Lac permettra une gestion rationnelle de ces ressources. [2] ont identifié les espèces de *Clarias* élevé en pisciculture au Mali. Des caractères morphologiques et génétique ont été utilisé pour identifier et déterminer la nature de leur croissance de *Clarias* en pisciculture [1].

Par conséquent cette étude vise à caractériser les *Clarias* du Lac Magui pour une meilleur conservation et leur utilisation en pisciculture par la population riveraine.

MATERIEL ET METHODES

L'échantillonnage a été fait dans le Lac Magui de façon aléatoire. Au total quarante-deux (42) sujets ont été collectés. Les échantillons ont été collecté au près des débarcadères au bord du fleuve. Les sujets ont été conservées dans les glacières et transporté au laboratoire pour les analyses génétiques.

Identification des espèces de *Clarias*

L'identification a été faite à partir de la plaque dentaire vomérienne

Variabilité morphométrique

Des mensurations individuelles ont été effectuées sur le corps de chaque spécimen de poissons selon les variables retenues par [4]. Pour étudier la variabilité morphométrique chez les poissons siluriformes (Figure 2).

Avec :

- Longueur totale (1) : distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau à l'extrémité postérieure de la nageoire caudale

- Longueur standard (2) : distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau à la base (articulation) de la nageoire caudale ;
- Hauteur du corps (3) : hauteur verticale maximale, nageoires non comprises ;
- Longueur de la tête (4) : selon les familles, elle peut être la distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau au bord postérieur de l'opercule ou la distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau à la pointe postérieure de l'occiput ou au bord osseux de l'encoche ;
- Longueur du museau (5) : distance horizontale de l'extrémité de la mâchoire supérieure au bord antérieur de l'œil ;
- Diamètre de l'œil (6) : diamètre horizontale de l'œil longueur pré dorsale (7) : distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau à l'articulation du premier rayon de la nageoire dorsale ;
- Longueur pré anale (8) : distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau à l'articulation du premier rayon de la nageoire anale ;

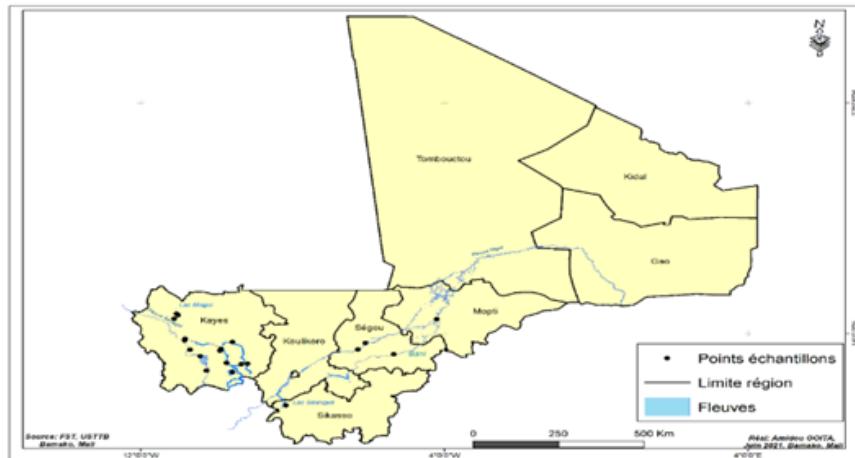


Figure 1 : Localisation de la zone de prélèvement des échantillons de *Clarias* dans le Lac Magui

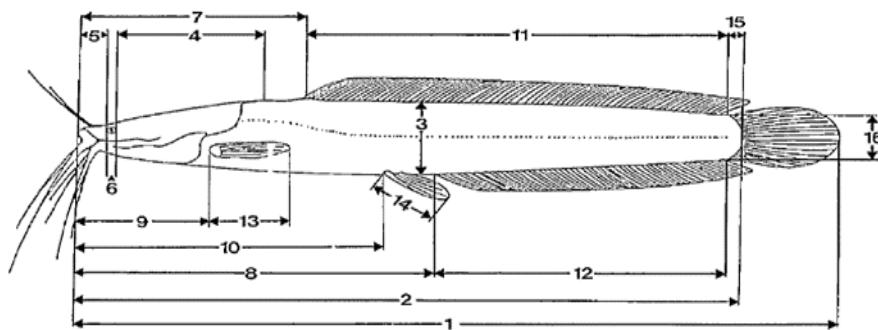


Figure 2 : Les mensurations effectuées sur un poisson Siluriformes d'après Paugy et al., (2003)

- Longueur pré pectorale (9) : distance horizontale de l'extrémité antérieure du museau à l'articulation du premier rayon de la nageoire pectorale ;
- Longueur pré pelvienne (précentrale) (10) : distance horizontale l'extrémité antérieure du museau à l'articulation du premier rayon de la nageoire pelvienne ;
- Longueur de la base de la nageoire dorsale (11) : distance horizontale maximale mesurée entre les deux extrémités ;
- Longueur de la base de la nageoire anale (12) : voir nageoire dorsale (11) ;
- Longueur de la nageoire pectorale (13) : longueur depuis l'articulation du premier rayon jusqu'à l'extrémité du plus long rayon ;
- Longueur de la nageoire pelvienne (ventrale) (14) : voir nageoire pectorale (13) ;
- Hauteur du pédoncule caudal (15) : distance prise du bord postérieur de la nageoire anale (ou dorsale si celle-ci s'étant plus en arrière) à la base de la nageoire caudale ;
- Longueur du pédoncule caudale (16) : hauteur verticale minimale du pédoncule caudal.

Relation entre le poids total et la longueur totale du corps

La relation entre la longueur totale et le poids total chez les poissons est, en général, une fonction de puissance [1] : $PT = aLT^b$ (2) Cette Équation est linéarisée sous la forme de $\ln PT = \ln a + b \ln LT$ (3) où \ln est le logarithme népérien, PT le poids corporel en g, LT la longueur totale en cm, a l'ordonnée à l'origine et b la pente de la droite de régression

Cette transformation permet de réduire la variabilité et d'homogénéiser les deux variables LT et PT [5]. Les constantes a et b sont respectivement des facteurs caractéristiques du milieu et de l'espèce. Le coefficient b varie entre 2 et 4, mais il est souvent proche de 3. Lorsqu'il est statistiquement égal à 3, la croissance est dite isométrique. Lorsqu'il est différent de 3, la croissance est dite allométrique. Un coefficient b supérieur à 3 (allométrie positive) indique une meilleure croissance en poids qu'en longueur et inversement lorsque b est inférieur à 3 (allométrie négative) [6].

Le facteur ou coefficient de condition K exprime le rapport entre le poids et la longueur du poisson. Il est donné par la Formule de [7] : ($K=PT/LT^b$)*100

Avec, PT et LT les variables utilisées pour établir la relation poids-longueur de l'espèce, b étant le coefficient d'allométrie obtenu.

Extraction d'ADN

Sur chaque individu échantillonné, un morceau de nageoire a été prélevé et conservé à -20°C. Ces tissus ont été digérés dans un mélange composé de 250 µl de solution de lyse (CTAB), de 20 µl de solution de protéinase K et incubé à 56°C pendant deux heures (2h) dans le bain marie. L'ADN total a été extrait à partir de chaque échantillon de nageoire, à l'aide du Kit de purification de Promega, selon les recommandations du fabricant. Les échantillons d'ADN ainsi extraits ont été conservés à 4°C

Amplification PCR et génotypage : Amplification des extraits d'ADN par les marqueurs microsatellites.

Les extraits d'ADN ont été amplifiés en utilisant 10 paires d'amorces microsatellites. Un mélange réactionnel d'un volume total de 15 µl a été préparé à partir des ingrédients du kit promega. Le mélange a été composé de 4.2 µl d'eau, 7,5 µl de master green, 0,6 µl de l'amorces aller et retour et 1.5 ou 2 µl de l'ADN. Le mélange réactionnel a été réparti ensuite entre les micro-tubes pcr, puis homogénéisé à l'aide du vortex. Après, les micro-tubes ont été introduits dans le Thermocycleur (Alpha unit TM Block Assembly for PTC ADN Engine TM Systems) pour l'amplification en adoptant le programme suivant consigner dans le tableau ci-dessous. Le cycle (dénaturation, hybridation, élongation) a été répété 35 fois.

Tableau 1 : Programme d'amplification

Etapes	Température	Temps
Dénaturation initiale	94°C	5 mn
Dénaturation	94°C	1 mn
Hybridation	Fonction des SSRs	45s
Elongation	72°C	1mn
Elongation finale	72°C	10 mn
Conservation	4°C	∞

Analyse des données

La taille des allèles de chaque marqueur microsatellites a été déterminée en paire de base en utilisant le logiciel E-Capt de version 15.06. La diversité de chaque locus a été analysée sur la base de cinq paramètres statistiques suivants : le nombre d'allèles, la fréquence des allèles, le nombre de génotype, la diversité génétique et le PIC (Polymorphism Information Content). La matrix de la distance génétique a été calculé selon [8] avec le logiciel Power Marker version 3.25. L'arbre phylogénétique a été construit par la méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) et éditer avec le logiciel MEGA

RESULTATS

Identification des espèces à partir de la plaque dentaire vomérienne

Au total trois espèces de Clarias ont été identifiées dans le lac Magui : *Clarias gariepinus* présentant une plaque dentaire vomérienne continue et gros, *Clarias sp* présentant une plaque dentaire vomérienne échancrée et *Clarias anguillaris* présentant une plaque vomérienne continue et petit.

Etude de la variabilité morphométrique

Au total 76,46% de variance a été observé entre les espèces. Les composantes ont présenté la situation suivante (tableau 3) : sur la composante 1, la discrimination peut se faire sur les %DO/LTTe, %DO/LS ; sur la composante 2, elle peut se faire sur les %LM/LTTE ; sur la composante 3, la discrimination peut se faire sur les % LNC/LS ; sur la composante (4), elle peut se faire sur les %PA/LS). La composante 5 elle se fait sur les %LN/ALS, sur la composante 6 les % LS/TL, sur la composante 7 % LNP/LS

Relation taille poids

Une corrélation positive entre le poids et la taille a été observé chez les différentes espèces de *Clarias*. *Clarias anguillaris* et *Clarias gariepinus* ont présenté une croissance positive par contre *Clarias sp* a présenté une allométrie négative

Facteur de condition :

Il donne une bonne idée de l'embonpoint du poisson, c'est-à-dire l'importance relative de la masse corporelle par rapport à sa longueur et le bien-être du poisson dans un environnement. Toutes les espèces

ont présenté une même moyenne de facteur de condition (tableau 4).

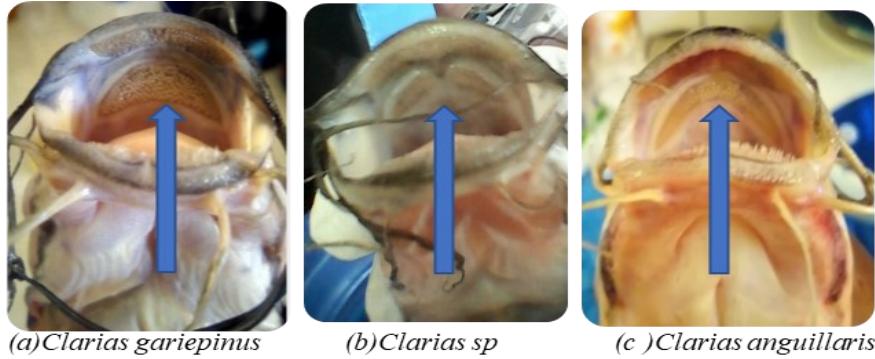


Figure 3 : Les différentes espèces de *Clarias* pressentent dans le Lac Magui

Tableau 2 : Les amores avec leur séquence et leur température d'hybridation dans la présente l'étude

Amorce	Sequence	Température
Cga02	F: TACAGCGTCGATAAGCCAGG	57.3
	R: ACCTCTGAGATAAAACACAGC	
Cga03	F : CACTTCTTACATTGTGCC	54.3
	R : ACCTGTATTGATTCTTGCC	
Cga06	F: CAGCTCGTGTAAATTTGGC	58.3
	R: TTGTACGAGAACCGTGCCAGG	
Cga10	F: GCTGTAGCAAAATGCAGATG	57.8
	R: TCTCCAGAGATCTAGGCTGTC	
Cba11	F : CACCGCGCTCGTCATTCCATAGA	64
	R: CTGCGCGGGTTTCAGAATGTTAGG	
Cba19	F : CAGGGCTAAATTACCCATAATCA	58
	R: GGCATGTGTTATAACATGTGAGG	
Cba20	F : GAAACACGCCATCATGCCTAATA	58
	R: CCAAACGGAGCGGACAGG	
Cm12	F-5'-ATG ACC CTG TAA ATC TCC-3' R-5'-CTA CAT TCT CTC CGT CTCT-3'	53

Tableau 3 : Analyse en composante principale des métriques

% des métriques	Composante						
	1	2	3	4	5	6	7
DO/LTTE	,417	,037	-,055	-,066	-,014	-,009	,090
LM/LTTE	,035	,468	-,006	,048	-,023	,019	-,044
LS/TL	-,005	-,099	,071	,120	,071	,350	-,342
HC/LS	,098	,054	,042	-,026	,378	-,094	,058
LTTE/LS	,056	,057	-,023	,213	,180	-,348	-,090
LM/LS	,036	,470	-,008	,050	-,018	,003	-,046
DO/LS	,432	,049	-,065	-,010	,014	-,070	,073
PD/LS	-,063	-,049	-,030	,377	,166	-,010	,070
PA/LS	-,043	,067	-,143	,476	-,087	,158	,100
PP/LS	,134	-,076	,227	,141	,035	,152	-,110
PV/LS	,108	,053	,124	,320	-,183	,116	-,109
LND/LS	,005	,080	,040	,126	,022	,550	,164

LN/ALS	-,117	-,049	-,101	,053	,477	,167	,042
LNP/LS	,067	-,073	-,045	,079	,091	,139	,784
LNV/LS	-,049	-,010	,426	,048	-,041	,092	-,070
HC/LS	,016	-,052	,332	-,179	,176	-,114	-,039
LNC/LS	-,096	,076	,445	-,126	-,317	,075	,196

Tableau 4 : Les paramètres des courbes de régressions logarithmiques.

Espèces	Effectif	b	a	r	A
<i>Clarias anguillaris</i>	16	3,15	0,0042	0,96	A ⁺
<i>Clarias sp</i>	8	2,73	0,0118	0,97	A ⁻
<i>Clarias gariepinus</i>	18	3,15	0,0041	0,95	A ⁺

Avec : a : Interception, b : coefficient d'allométrie ; SE(b) : erreur standard de b ; R : corrélation ; A : Allométrie

Tableau 5 : Variations du facteur de condition des espèces du genre *Clarias*

Espèces	Minimum	Moyenne	Maximum
<i>Clarias anguillaris</i>	0,61	0,77±0,09	0,91
<i>Clarias sp</i>	0,69	0,77±0,04	0,86
<i>Clarias gariepinus</i>	0,69	0,77±0,06	0,88

Etude de la diversité génétique

Avec l'usage de huit (8) marqueurs microsatellites trente un allèle (31) ont été observé dans l'ensemble des trois espèces de *Clarias*. Le nombre d'allèle a varié de 2 pour Cba11 et Cba20 à 8 pour cga10 avec un nombre d'allèle moyen de 3,77. Le polymorphisme information content a varié de 0,09 Cba11 à 0,73 Cga10, avec un nombre moyen de 0,40. Traduisant que certaines amores ont été peu polymorphes.

Indice de fixation ou F statistiques

Le tableau 6 montre les niveaux de variations intra et inter-populations de Fis, Fst et Fit. Il s'agit de coefficients de consanguinité : au sein de la population (Fis), entre la population (Fst) et la population globale (Fit) pour les huit loci microsatellites étudiés.

La consanguinité au sein de la population (Fis) a varié de -0,009 à 1 avec une moyenne de 0,47. La consanguinité entre les populations (Fst) était entre 0,03 à 0,85 avec une moyenne de 0,27. La consanguinité dans la population globale (Fit) a oscillé entre -0,04 à 1 avec une moyenne de 0,66. La valeur de Fst comprise entre 0 et 1 indique un déficit d'hétérozygotie.

Hétérozygotie

Les estimations d'hétérozygotie observées (Ho) et attendues (He) étaient faibles chez toutes les espèces. Et l'hétérozygotie attendue non biaisée (0,29) est supérieure à celle observée (0,09), traduisant un écart positif à l'équilibre de Hardy Weinberg suggérant un déficit en hétérozygotie dans la population. Ce qui montre que chez les espèces de *Clarias* du Lac Magui

la rencontre des gamètes se font hasard lors de la reproduction(pammixie). La population est modérément homogène.

Test de l'équilibre de Hardy-Weinberg

Les espèces de *Clarias* n'ont pas présenté de différence au niveau des loci Cm17, Cba11 et Cba20 ce qui vérifient l'équilibre de Hardy-Weinberg chez toutes les espèces

DISCUSSION

L'étude a permis d'identifier sur la base de la plaque dentaire vomérienne trois espèces dans le Lac Magui il s'agit : de *Clarias anguillaris*, *Clarias gariepinus* et *Clarias sp*

L'analyse en composantes principales a indiqué que la plupart des variables pouvaient être utilisées pour la différenciation en ce qui concerne les espèces de *Clarias* du Lac Magui avec une variance totale de 76,46%. La variance 76,46% de la présente étude est inférieur à celle observée chez *Clarias gariepinus* 82,52% par [9] au Ban gladesh, mais supérieur à 39% sur *Clarias gariepinus* en Turquie [10]. Cette variabilité est probablement due à la grande plasticité phénotypique des poissons en réponse aux changements des facteurs environnementaux [11,12].

Relation taille-poids

L'analyse a montré des poissons à allométrie positive (majorante, b >3) dont *Clarias anguillaris* et *Gariepinus* et des échantillons à allométrie négative (minorante, b < 3) dont *Clarias sp*

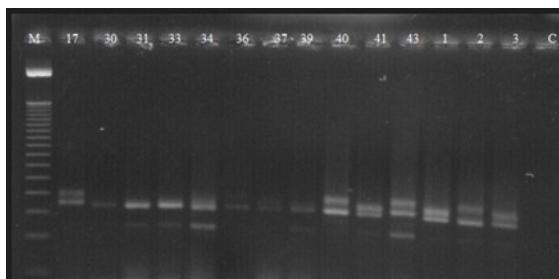


Figure 4 : Profils de migration des échantillons d'ADN de *Clarias anguillaris*, amplifiés avec le marqueur *Cba02* sur gel métaphore 3%. M : Marqueur, C : contrôle négatif marqueur *Cba02* sur gel métaphore 3%. M : Marqueur, C : contrôle négatif

Tableau 6 : Diversité génétique, PIC obtenus avec les huit marqueurs microsatellites

Marker	Nbre Allèle	PIC	Fis	Fit	Fst
Cm17	5	0,5	-0,009	0,02	0,03
CGA02	5	0,6	0,89	0,92	0,28
CGA06	3	0,44	1	1,00	0,14
CGA10	8	0,73	0,5	0,65	0,12
Cba20	2	0,2	-0,086	-0,04	0,03
Cba19	4	0,51	0,936	0,948	0,18
Cba011	2	0,09	-0,333	0,821	0,86
Cm12	3	0,53	1,000	1,000	0,55
Moy	3,77	0,40	0,47	0,66	0,27

Tableau 7: Conformité à l'équilibre de Hardy-Weinberg

Pop	Ho	He	I
CAN	0,17±0,06	0,35±0,05	0,58±0,07
CSP	0,07±0,05	0,19±0,1	0,29±0,17
CGA	0,05±0,03	0,33±0,07	0,51±0,1
Moy	0,09±0,04	0,29±0,09	0,46±0,34

CAN : *Clarias anguillaris*, Csp : *Clarias* sp, CGA : *Clarias gariepinus*

Tableau 8 : Comparaison des espèces en fonction des loci

Locus	CAN	CSP	CGA	Signif
Cm17	ns	ns	ns	ns
CGA02	*		***	***
CGA06	***	*	***	***
CGA10	*	Ns	*	***
Cba20	ns		ns	ns
Cba19	***		**	***
Cba011	ns			ns
Cm12	***		**	***

** : $P < 0,05$ (significatif) — $P < 0,05$ (significatif) ; *** : $P < 0,01$ (hautement significatif) ; $P > 0,05$ (ns : non significatif). CAN : *Clarias anguillaris*, Csp : *Clarias sp*, CGA : *Clarias gariepinus*

Relation taille-poids

L'analyse a montré des poissons à allométrie positive (majorante, $b > 3$) dont *Clarias anguillaris* et *Gariepinus* et des échantillons à allométrie négative (minorante, $b < 3$) dont *Clarias sp*. L'allométrie dépend des conditions du milieu. L'allométrie positive chez *Clarias anguillaris* a été rapportée par d'autres auteurs, dans la rivière Ebonyi, au Nigéria [13], dans le lac Bam et le réservoir de Kompienga au Burkina Faso [14], dans les fermes piscicoles au Mali [2]. Quant à l'allométrie négative, elle est signalée chez *Clarias anguillaris* au Nigéria par [15]. Cette situation pourrait être expliquée par la différence d'espèces et les conditions environnementales différentes des habitats et la disponibilité de la nourriture.

Facteur de condition

Les trois espèces ont présenté les mêmes moyennes facteur de condition $K=0,77$. Une moyenne de $K=0,68 \pm 0,17$ a été observé dans la rivière Ogun au Nigéria par [15]. Un facteur de condition moyen de $0,383 \pm 0,053$ pour *Clarias anguillaris* du lac Bam et $0,359 \pm 0,44$ pour *Clarias anguillaris* du lac Kompienga a été observé par [14].

Diversité génétique

Avec l'usage de huit (8) marqueurs microsatellites trente un allèle (31) ont été observé avec un nombre d'allèle moyen de 3,77. Ce résultat est différent à ceux rapportés par [16] qui ont observé un nombre d'allèles variant de 2 pour Cba12 à 10 pour Cba20 sur *Clarias batrachus* au Bangladesh. Un nombre de 54 allèles sur *Clarias gariepinus* avec quatre marqueurs (Cba12, Cba17, Cmac6 et Cmac11) a été rapporté par [17] en Inde. Un nombre moyen d'allèles de 4,38 avec sept marqueurs sur *Clarias gariepinus* a été enregistré par [9].

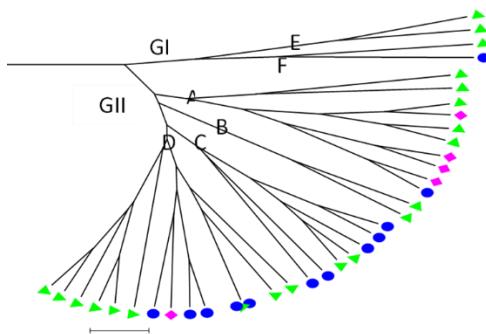


Figure 5 : Dendrogramme des espèces de *Clarias* du Lac Magui vert : Clarias anguillaris, bleu : Clarias gariepinus, violet : Clarias sp

Le nombre d'allèles dans la présente étude est supérieur à celui obtenu par [18] qui ont observé 26 allèles en utilisant sept marqueurs (Cga01 ...Cga10) sur *Clarias anguillaris* au Sénégal. Cette différence pourrait s'expliquer par la différence des marqueurs. En moyenne 2,47 allèles avec les sept marqueurs (Cga01 ...Cga10) sur des individus de la rivière Lokoja et 2,24 allèles sur des individus de la rivière Asejire au Nigeria Chez *Clarias gariepinus* ont été obtenu par [19].

Avec l'usage des huit loci utilisés un PIC moyen de 0,40 a été observé. Ce qui signifie que les amores ont été peu polymorphe. La valeur du pic moyen de la présente étude est différente de celle obtenu sur *Clarias gariepinus* avec un pic moyen de 0,78 [20] et de celle comprise entre 0,45 et 0,49 dans la population de *Clarias gariepinus* des cours d'eau d'Asejire et Lokoja au Nigéria [19]. Ceci peut s'expliquer par la différence d'espèce.

Les estimations d'hétérozygotie observées (H_o) et attendues (H_e) étaient faibles Chez toute les espèces. Et l'hétérozygotie attendue non biaisée (0,29) est supérieure à celle observée (0,09), traduisant un écart positif à l'équilibre de Hardy Weinberg suggérant un déficit en hétérozygotie dans la population.

La valeur d'hétérozygotie trouvée dans la présente étude était inférieure à celle trouvée sur *Clarias gariepinus* (0,45) et *Heterobranchus bidorsalis* (0,44) [20] et chez *Clarias anguillaris* à Sangkuriang (0,43) à Paiton (à 0,602) en Indonésie [21] et sur *Clarias gariepinus* (0,52) [22]. Par contre, elle était supérieure à celle observée chez *Clarias gariepinus* (0,12) de Lokoja [19].

La consanguinité entre les populations (F_{ST}) était entre 0,03 à 0,85 avec une moyenne de 0,27. est comprise entre 0 et 1 indiquant un déficit hétérozygotie. Le coefficient de consanguinité moyen ($F_{ST} = 0,27$) observé dans cette étude était inférieur aux valeurs rapportées sur *Clarias batrachus* ($F_{ST} = 0,545$) et *Clarias nieuhofii* ($F_{ST} = 0,484$) en Thaïlande [23]. Il était également inférieur à la valeur rapportée chez *Clarias gariepinus* 0,04 par [20] et 0,16 par [17].

Relation phylogénique :

Les échantillons de *Clarias* du Lac Magui ont été répartis en deux génotypes, répartition faite en fonction des espèces. La répartition des génotypes en deux groupes montre une diversité au sein des espèces.

CONCLUSION

L'étude a permis d'identifier trois espèces sur la base de la plaque dentaire vomérienne : *Clarias gariepinus* *Clarias sp* et *Clarias anguillaris*. L'analyse en composante principale des variables

métriques du corps a présenté une variance de 76,29% au niveau du diamètre de l'œil, la longueur du museau de la nageoire anale caudale et la longueur standard. Une corrélation positive entre le poids et la taille a été observé chez les différentes espèces de *Clarias*. *Clarias anguillaris* et *Clarias gariepinus* ont présenté une croissance positive. Cependant *Clarias sp* a présenté une croissance négative. Toutes les espèces ont présenté une même valeur moyenne de facteur de condition plus ou moins bonne. Le maximum a été observé chez *Clarias anguillaris*. Avec l'usage de huit (8) marqueurs microsatellites trente un allèle (31) ont été observé avec un nombre d'allèle moyen de 3 ,77. Certain loci ont montré une différence entre les espèces et un écart significatif à l'équilibre de Hardy-Weinberg, à l'exception du loci Cm17, Cba11 et Cba20 qui vérifient aussi bien l'équilibre chez toutes les espèces.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture). Le Réserveur Naturel du Lac Magui. 2016.
- [2] D Ramata, K Adama, T Diakaridia, S Youssouf, C Mamadou. - Variabilité Morphométrique et génétique des espèces de *Clarias* utilisées en pisciculture dans la zone Périurbaine de Bamako. *MSAS 2018, périurbaine de Bamako, MSAS 2018.1-7*
- [3] D Ramata, K Adama, S Youssouf, T Diakaridia et Camara Mamadou, 2019. Relation taille - poids et facteur de condition des espèces de silures (genre *Clarias*) utilisées en pisciculture dans la zone périurbaine de Bamako. Revue Malienne de Science et de Technologie, Série A, vol. 0 n° 22, 83-93.
- [4] D PAUGY, C LEVEQUE, GG TEUGELS. Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Tome 1, IRD Éditions, coll. Faune et Flore tropicales.2003. 40, 457 pages.
- [5] A. CHIKOU, Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons chats (Teleostei, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, (2006) 459 p.
- [6] W. E. RICKER, Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. Bull. office des recherches sur des pêcheries du Canada, Ottawa, (1980) 409 p.
- [7] F. W. TESCH, Age and growth. In: W. E. RICKER (eds.), Methods of Assessment of Fish Production in Fresh Water. IBP Handbook No 3, 2nd edition. Blackwell Scientific publication, New York, (1971) 97 - 130.
- [8] Nei et Takezaki (1983) NEI, M., E TAJIMA, and Y. TATENO. 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. II. Gene frequency data. J. Mol. Evol. 19:153-170.
- [9] IO SULEIMAN: Morphological and genetic characterization of two strains of *Clariid* fish species in Kino state, Nigeria using microsatellite markers.2017.the 45 th annual conference of the Nigerian society for animal production:1-161.
- [10] C Turan, S Yalçın, F Turan, E Okur, I Akyurt. Morphometric comparisons of African catfish, *Clarias gariepinus*, populations in Turkey. *Folia Zool.* 2005.54(1-2): 165–172.
- [11] PH wimberger. Plasticity of jaw and skull morphology in the neotropical cichlids *Geophagus brasiliensis* and *G. steindachneri*. *Evolution*, 1991. 45: 1545-1561.
- [12] PH Wimberger. Plasticity of fish body shape – the effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae). *Biol. J. Linn. Soc.* 1992. 45: 197–218.
- [13] EF Lude, LLLC Ugwu, BO Mgbenka, CD Nwani. Evaluation of length-weight relationship of fish species of ebon yiriver, Nigeria *Nigerian journal of fisheries*. 2011.vol. 8 (1) p136-144
- [14] N DA, R OUÉDRAOGO, A OUÉDA. Relation poids-longueur et facteur de condition de *Clarias anguillaris* et *Sarotherodon galilaeus* pêchées dans le lac Bam et le réservoir de la Kompienga au Burkina FasoINT. *J. BIOL. CHEM. SCI.* 2018 .12(4) : 1601-1610.
- [15] OS Olufelo, OB Olufade, YA Matilukuro, MO Efuntoye and AA Sowunmi. Indices from *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803), *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862), *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) and *Clarias anguillaris* (Linnaeus, 1758) as Bioindicators of Organic Pollution in Ogun River, Southwest Nigeria. *Journal of Fisheries & Livestock Production*. 2016.ISSN: 2332-2608.
- [16] MN Islam. Genetic Structure of Different Populations of Walking Catfish (*Clarias batrachus* L.) in Bangladesh *Biochem Genet.* 2007.P:647-662.
- [17] P. Ezilrani Godwin Christopher Genetic variation and differentiation in African catfish, *Clarias gariepinus*, assessed by heterologous microsatellite DNA July 2015Indian Journal of Biotechnology 14(3):388-393
- [18] JF Agnèse, SGG Teugel. Morphometric and genetic characterization of sympatric population of *Clarias gariepinus* and *Clarias anguillaris* from Senegal. *Journal of fish biology*.1997.1143-1157.
- [19] MO Awodiran, FO Adeniran, RO Akinwale, AA Akinwande. Microsatellite variability of two populations of *Clarias gariepinus* (siluriformes, Clariidae) in Nigeria. *Vestnik Zoologii*.2019.53(3) : 195–208.
- [20] OT Agbebi, DE Illobaya, OO Adebamb. Preliminary characterization of genetic strains in *Clariidae* species, *Clarias gariepinus* and *Heterobranchus bidorsalis* using microsatellite markers *African Journal of Biotechnology*.2013. Vol. 12(4), pp. 364-369
- [21] Imron, D Sunandar, E Tahapari. Microsatellite genetic variation in cultured populations of African catfish (*Clarias gariepinus*) in Indonesia. *Indonesian Aquaculture Journal* .2011. 6(1), 1-10.
- [22] JE Barasa, S Mdyogolo, R Abila, JP Grobler, RA Skilton,, H Bindeman , NM Ndoto, EJ Chemoiwa, OG Dangasuk, B Kaunda-Arara, E Verheyen. Genetic diversity and population structure of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) in Kenya: implication for conservation and aquaculture. *Belgian Journal of Zoology*.2017.147 (2): 1
- [23] NA-NACRON U, KAMONART W, NGMSIRI T. Genetic diversity of walking catfish, *Clarias microcephalus* in Thailand and evidence of genetic introgression from introduced farmed *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*. 2004.240: 145-16

Diversité génétique du Zébu Peulh à l'aide de Marqueurs Microsatellites au Mali

KAMATE Tandin N^{1*}, DAO Sognan¹, KONATE Drissa¹, KONATE Adama², KOUYATE Abdoul Kader¹, DIARRA Aboubacar¹, OUATTARA Oumar¹, DIOP Ramata¹, TRAORE Diakaridia³, SANOGO Youssouf², KONE Seydou¹

¹Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (LaboREM-Biotech), Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

²Laboratoire de Biologie Animale et Environnement (LaBAE) Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali

³Centre National d'Insémination Artificielle Animale, Bamako, Mali

* nicolasjkamate@gmail.com

RESUME: Le pays regorge d'un grand potentiel numérique de bovins dont les caractéristiques génétiques sont très peu connues. Dans le but de mieux comprendre leurs caractéristiques génétiques, la présente étude, vise à utiliser quatre marqueurs microsatellites pour évaluer la diversité génétique de 57 zébus Peulhs provenant de trois localités du Mali par la méthode de la PCR (Réaction en chaîne par polymérase). Au total, 20 allèles différents ont été détectés avec une moyenne de 5 allèles par locus. Le *PIC* a varié de 0,46 (HEL9) à 0,78 (BM226) avec une moyenne de 0,63 par locus. Les valeurs moyennes des d'hétérozygosités observées (*Ho*) et attendues (*He*) ont été respectivement de $0,55 \pm 0,09$ et $0,41 \pm 0,06$. La différenciation génétique (*FST*) entre les trois populations a été importante avec un excès de $F_{IT} = -0,09 \pm 0,26$. Les analyses en coordonnées principales ont permis de classer les individus en six groupes en fonction de leurs similarités génétiques. Les zébus Peulhs ont présenté une forte diversité génétique au niveau des loci étudiés. Ces résultats offrent une estimation de la diversité génétique des zébus au Mali.

Mots Clés : Zébu Peulh, Marqueurs microsatellites, Diversité génétique, Mali

INTRODUCTION

Le Mali est un pays agropastoral, avec une grande diversité de races dont le cheptel bovin est estimé à près de 12 848 696 têtes (DNPIA 2022). Le cheptel bovin malien est composé du *Bos indicus* (Zébu) localisé au nord et au centre du pays et du *Bos taurus* (Taurin) et leurs produits de croisement qui se rencontrent au sud du pays (Konaté et al, 2018). Au Mali, le *Bos indicus* est composé du zébu Arabe (zébus à courte cornes) et du zébu Peulh (zébus à longue cornes). Les zébus Peulhs sont des zébus à longue cornes, ils constituent le groupe le plus important sur le plan numérique au Mali. Ce groupe comporte plusieurs races ou variétés dont plusieurs nuances de robe sont rencontrées comme la robe blanche, noire, pie noire, noire-pie, gris, moucheté, rouge, rouge-pie (Kouriba et al, 2002). Les différentes races rencontrées au sein de ce groupe, portent généralement le nom de l'ethnie qui l'éleve. Ce groupe représente pour ces éleveurs une ressource génétique animale très importante du fait de sa capacité à s'adapter aux différents aléas climatiques et à être engrangé avec un rendement carcasse pouvant aller de 46 à 55% (FAO, 1957 ; Bister et al, 2016). Aussi il assure la fourniture de viande à travers la mise sur le marché des mâles de 5 ans ou plus ainsi que les femelles en fin de carrière de reproduction (Konaté, 2022). Malgré son importance, aucun programme de conservation *in-situ* ou *ex-situ* n'existe au Mali sur ce groupe de race bovine. Au Mali, existe peu de connaissances sur les caractéristiques génétiques de nos races autochtones

en particulier sur les zébus Peulhs. Or, plusieurs études de diversité génétique ont été entreprises sur les races animales à travers le monde (Moazani-Goudazi et al, 1994, Kaboré 2012). Les marqueurs microsatellites sont des outils couramment utilisés dans le cadre de ces études. Les marqueurs microsatellites, de par leur grand polymorphisme, leur abondance dans le génome, leur neutralité et leur codominance réunissent un ensemble de propriétés qui en font un outil idéal d'évaluation de la diversité génétique intra-race et entre race (Olivier et al, 2000). Une bonne connaissance de la diversité génétique de nos races bovines autochtones en particulier le zébu Peulh permettra aux techniciens et aux éleveurs maliens de mieux concevoir des programmes d'amélioration génétique et de prendre des dispositions pour assurer leurs conservations et préservations durables. Elle est également nécessaire pour leurs inscriptions dans un catalogue national et permettra, entre autres, l'établissement des standards des spécimens rencontrés au Mali et de les protéger sur le plan de la propriété d'intellectuelle, car la plupart de nos races sont transfrontières (Konaté, 2022). La caractérisation permettra de faire connaître la diversité génétique des races afin d'élaborer des programmes de valorisation de celles-ci. D'où l'intérêt de la présente étude qui s'inscrit dans le cadre de la caractérisation génétique des races autochtones au Mali par l'usage des marqueurs microsatellites.

MATERIEL ET METHODES

Site d'échantillonnage

La présente étude a été menée dans trois cercles de trois régions du Mali. Il s'agit des cercles de Diéma (région de Nioro), Kayes (région de Kayes), et du cercle de Dioïla (région de Dioïla). Ces zones ont été choisies suivant leur accessibilité, la disponibilité des éleveurs et de leurs troupeaux. Elles constituent pour la plupart des zones d'expansions, berceau ou de transit pour les transhumants.

Conduite des troupeaux

Les troupeaux étaient conduits en système d'élevage extensif à travers l'exploitation des parcours naturels pendant les douze mois de l'année complémenté par des résidus de récoltes et de concentrés (son et céréales) pendant les périodes sèches. Les interventions sanitaires étaient effectuées par les mandataires au besoin dans les élevages paysans. La saillie était naturelle dans tous les troupeaux.

Prélèvement des échantillons de sang

Les collectes du sang total ont été effectuées sur un effectif total de 57 zébus Peulhs de toutes variétés confondues.

Environ quatre millilitres (4 ml) de sang total de chaque animal ont été prélevés dans des tubes contenant l'anticoagulant (EDTA). Les échantillons ont été étiquetés, conservés sous la glace dans une glacière et transportés au Laboratoire de Recherche en Microbiologie et Biotechnologie Microbienne (LaboREM-Biotech) de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) pour les analyses moléculaires.

Extraction de l'ADN génomique

L'extraction d'ADN des échantillons du sang a été effectuée à partir du sang total à l'aide des réactifs du Kit PROMEGA ReliaPrep™ Blood gDNA Miniprep System. Les extraits d'ADNs ont été dilués à 20ng/μl et conservés à 4°C pour les analyses.

Amplification des extraits d'ADN avec les marqueurs microsatellites

Les extraits d'ADN ont été amplifiés avec 04 paires d'amorce SSR (Tableau1) en utilisant le kit de PCR Promega. A cet effet, 2μl de l'ADN génomique ont

été amplifiés dans un volume final de 15μl des réactifs contenant 4,3μl d'eau pure, 7,5μl de Go Taq Green Master Mix, 0,6μl de chaque amorce (allé et retour). Les marqueurs microsatellites utilisés ont été sélectionnés selon MoazamiGoudarzi et al, (1994), Moazami-Goudarzi et al, (2001), Gralak et al, (2004) et Kaboré, (2012). Le thermocycleur TECHNE-PRIME a été utilisé pour l'amplification, en adoptant le programme d'amplification suivant : la dénaturation initiale à 94°C pendant 5 mn, Dénaturation à 94°C pendant 1 mn, Hybridation a été en fonction des marqueurs microsatellites pendant 45s, Elongation à 72°C pendant 1mn45s dont l'ensemble à 35 cycles, Elongation finale à 72°C pendant 10 mn et la Conservation à 4°C.

Electrophorèse des produits amplifiés

Dix (10) microlitres de chaque produit de PCR ont été déposés et migrés pendant 2 heures 30 minutes à 80V sur le gel de l'agarose MS4 CONDA 3%. Les gels ont été préparés avec du TBE 0.5X (Tris, Borate Acide, EDTA) et de 30μl de 10% du bromure d'éthidium (1mg/ml) (Konaté et al, 2018). Les gels ont été ensuite photographiés avec l'appareil Gel Documentation System E-BOX VX2 version 15.06.

Analyses statistiques

La diversité génétique au sein de chaque population des zébus a été analysée à deux niveaux : la variabilité intra-populations et la variabilité inter-populations. La taille des allèles de chaque marqueur microsatellite a été déterminée en paire de base par l'usage du logiciel ECapt.

La diversité de chaque locus a été analysée sur la base de quatre paramètres statistiques : le nombre d'allèles, la diversité génétique, le PIC (polymorphism information content) et l'hétérozygotie en utilisant le logiciel Power marker version 3.25. La matrix de la distance génétique a été calculé selon Nei et Takezaki (1993) en utilisant le logiciel Power Marker version 3.25. L'analyse en composante principale (PCoA) a été effectuée en utilisant la matrice de covariance de la distance génétique et par la méthode de UPGMA (Unweighted Pair Group Method with arithmetic Averages).

Tableau 1 : Liste exhaustive de tous les marqueurs utilisés

Marqueurs		Séquence d'amores 5'-3'	T°	Chromosome	Références
BM226	R	ATTGCCTTGTCCGTGTATCC	54	24	Bishop et al, 1994
	F	CCGGTCGAATTGCTATAAGC			
BM4028	R	ATGGAAACATGGTCTCCTGC	56	12	Bishop et al, 1994
	F	ACCGAACATCTCTTAC			
HEL1	R	AGGCTACAGTCCTGGATT	54	15	Kaukimen & Varvio (1993)
	F	CAACAGCTATTTAACAGGAA			
HEL9	R	CACATCCATGTTCTCACAC	54	8	Kaukimen & Varvio (1993)
	F	CCCATTCACTCTCAGAGGT			

RESULTATS

Un ensemble de 20 allèles ont été identifiés chez les individus de zébus Peulhs des trois localités pour

l'ensemble des marqueurs utilisés (tableau 2). Tous les marqueurs appliqués ont été polymorphes. Ainsi, le marqueur le plus polymorphe dans la population totale a été le marqueur BM226 avec 7 allèles et le

moins polymorphe a été HEL9 avec 3 allèles (tableau 2) avec une moyenne de 5 allèles par locus.

Le *PIC* (Polymorphism Information Content) a varié de 0,46 (HEL9) à 0,78 (BM226) avec une moyenne de 0,63.

La diversité génétique a varié de 0,53 (HEL9) à 0,80 (BM226) avec une moyenne de 0,68 (tableau 2) aussi, la diversité génétique observée a été proportionnelle au *PIC* (tableau 2).

L'hétérozygotie observée (H_o) et l'hétérozygotie attendue (H_e) ont été calculées pour chaque locus et population sous l'hypothèse d'équilibre de Hardy Weinberg. Afin d'estimer l'importance du polymorphisme génétique, les taux d'hétérozygoties (H_o et H_e) ont été comparés. Pour la population totale et sur la base de multi-locus, l'hétérozygotie attendue non biaisée $uH_e = 0,44$ a été inférieur à $H_o = 0,55$, traduisant un excès en hétérozygotie dans la population (tableau 3).

Le coefficient de consanguinité (F) moyens dans la population a été de $-0,35 \pm 0,10$ et le coefficient de consanguinité moyen par population a varié respectivement de $-0,32 \pm 0,16$ à $-0,67 \pm 0,24$. Les F -statistiques de Wright FIT , FST et FIS , calculés pour l'ensemble des populations des zébus Peulhs ont été respectivement $-0,09 \pm 0,26$, $0,17 \pm 0,13$ et $-0,31 \pm 0,17$.

La valeur moyenne de F_{IS} qui est égale à $-0,31$, indique un excès d'hétérozygotie au niveau des populations prises individuellement que dans la population globale ($F_{IT} = -0,09$).

La moyenne générale de la différenciation génétique (F_{ST}) est importante, indiquant que 17,3% de la déviation génétique correspond à des différences entre les populations (tableau 4).

Tous les loci ont présentés un excès d'hétérozygotie avec des valeurs de F_{IS} négatives (tableau 4). Le flux de gènes (Nm) moyen dans ces populations a été

Tableau 2 : Diversité génétique, *PIC* et hétérozygotie (H_o , H_e) des zébus Peulh en fonction des marqueurs microsatellites

Marqueurs	Taille en pb		T°C Hyb	Nbres allèles	DG	<i>PIC</i>	H_o	H_e
	Max	Min						
BM226	166	130	54	7	0,803	0,780	0,643	0,602
BM4028	137	105	55	5	0,705	0,654	0,676	0,524
HEL1	120	100	53	5	0,680	0,632	0,413	0,399
HEL9	182	155	54	3	0,533	0,463	0,854	0,489
Moyenne				5	0,680	0,631	0,517	0,403

Avec :

T°C Hyb : Température d'hybridation en degré Celsius, DG : Diversité Génétique, *PIC* : polymorphism information content, H_o : hétérozygotie observée, H_e : hétérozygotie attendue

Tableau 3 : Hétérozygoties attendues et observées dans les troupeaux de zébu Peulh en fonction des localités

Troupeaux par localité	H_o	H_e	UHe	F
Diéma	0,375±0,0239	0,219±0,129	0,264±0,0153	-0,667±0,236
Dioïla	0,687±0,078	0,524±0,036	0,535±0,036	-0,317±0,156
Kayes	0,595±0,080	0,491±0,041	0,511±0,045	-0,221±0,157
Moyenne	0,552±0,089	0,411±0,059	0,437±0,062	-0,348±0,100

uHe = Hétérozygotie attendue non biaisé, F = Indice de fixation ou consanguinité.

10,883±8,008 indiquant un faible échange de gènes d'une population à une autre.

L'analyse des coordonnées principales a révélé un pourcentage de variation génétique de 29,50% et de 18,38% respectivement pour les deux premiers principaux axes (figure 2) avec un total de 47,88%. Le graphe généré par les deux principaux axes a montré six groupes de Zébu Peulh (figure 2). Les groupes I, IV, V et VI ont été constitués uniquement des individus du cercle de Kayes et de Dioïla ; le groupe III a été formé essentiellement par les individus de Diéma et de Kayes et le groupe II a été composé des génotypes des trois localités Kayes, Diéma et Dioïla.

Le résultat de l'analyse montre que le regroupement des individus se fait indépendamment de l'origine géographique. Cette répartition s'explique par l'existence d'une large base génétique commune entre les différentes populations

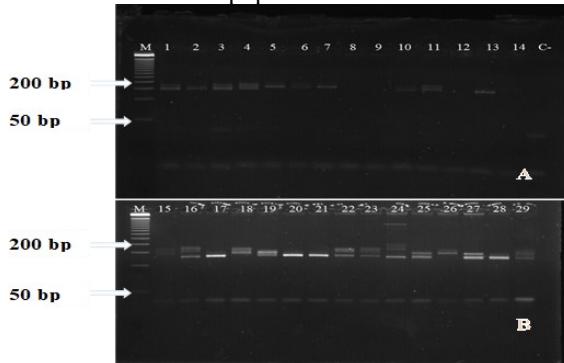


Figure 1 : Profils de marqueurs microsatellites HEL9 (A) et BM226 (B) après migration sur gel métaphore de 3%. M : marqueur de taille (en paire de base), C- : contrôle négatif, 1 à 29 : échantillons de zébu Peulh

Tableau 4 : F-statistiques et estimations du flux génétique (Nm) sur toutes les populations étudiées de zébu Peulh pour chaque marqueur

Marqueurs	Fis	Fit	Fst	Nm
BM226	-0,116	-0,073	0,039	6,152
BM4028	-0,252	0,444	0,556	0,2
HEL1	-0,068	0,024	0,089	2,556
HEL9	-0,808	-0,795	0,007	34,625
Moyenne	-0,311±0,170	-0,099±0,258	0,173±0,129	10,883±8,008

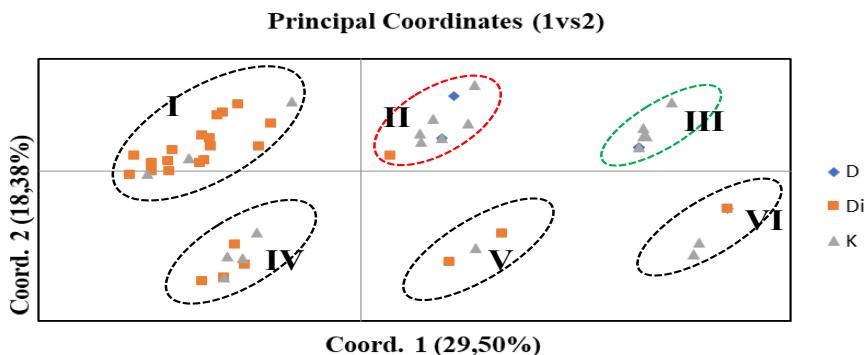


Figure 2 : Coordonnées principales de l'ensemble de génotypes des 57 zébus Peulh en fonction des localités.

DISCUSSION

Un panel de quatre marqueurs microsatellites a été utilisé pour l'étude de la variabilité génétique des zébus Peulhs provenant de trois localités différentes. Avec une valeur PIC moyenne de 0,63, les marqueurs choisis ont montré une capacité informative importante.

Des valeurs plus élevées de PIC ont été rapportées dans les études de caractérisation bovine au Sénégal de l'ordre de 0,75 (N'Diaye et al., 2015) avec l'utilisation de 11 marqueurs microsatellites. Cependant, des valeurs moyenne de 0,66 et 0,65, très similaires à celles de la présente étude ont été rapportés respectivement par Konaté (2022) sur des zébus Peulhs du Mali et Moussa et al (2019) sur les zébus Bororo au Niger de 0,65.

Aussi, le nombre d'allèles moyen observé par locus (5) a été proche de celui rapporté dans les populations de zébus Bororo au Niger qui était 5,22 (Moussa et al, 2019). Par contre, Konaté (2022) a rapporté une valeur inférieure (4,75) chez des zébus Peulhs au Mali. Par contre, un nombre d'allèle moyen supérieur à celui de la présente étude a été rapportés par Ndiaye et al (2015) (10,45 allèles) sur les races bovines au Sénégal.

Ces différences observées peuvent être expliquées par la différence du nombre de marqueurs utilisés, la taille des échantillons, la race bovine ciblée, les conditions d'élevage ; aussi par le faible nombre d'individus échantillonés, la richesse allélique étant dépendante de la taille de la population, la portion amplifiée et l'outil expérimental.

En outre, les points de similitudes observés pourraient expliquer d'une part par le ciblage du même locus, d'autre part les races bovines ciblées et d'autre part, les loci ciblées.

Le présent résultat indique une forte variabilité génétique dans les populations de zébus Peulh. Cette forte variabilité se traduit par un taux de polymorphisme importante des marqueurs, une importante diversité allélique au niveau des microsatellites et une diversité génétique importante et cela avait également été établi chez diverses races de zébus : les zébus Bororo, le zébu white Fulani du Nigeria (Ibeagha-Awemu et al, 2004), les zébus Peulhs du Burkina Faso (Freeman et al, 2004 ; Thevenon et al, 2007 ; Dayo et al, 2009).

Les hétérozygosités observées et attendues (Ho et He) au niveau des loci ont été respectivement $0,552\pm 0,089$ et de $0,411\pm 0,059$. Ces valeurs sont inférieures à celles rapportés par N'Diaye et al (2015) ($0,719\pm 0,0134$ et de $0,799\pm 0,062$) chez les bovins élevés au Sénégal. Konaté (2022) a obtenu des valeurs moyennes Ho et He ($0,395\pm 0,09$ et $0,370\pm 0,062$) inférieures à celles de présente étude dans la population du zébu Peulh au Mali. Ces différences observées peuvent s'expliquer par la conduite du troupeau, la différence de race et loci ciblés.

Cependant dans tous les troupeaux des différentes localités, l'hétérozygotie obtenue était supérieure à celle attendue ce qui signifie un excès d'hétérozygotie dans les populations. Ces résultats traduisent une diversité génétique dans ces trois populations.

Dans la présente d'étude les valeurs Fis ont été négatives dans toutes les sous-populations. Cela montre un excès en hétérozygotie dans les troupeaux. En effet l'excès d'hétérozygotie pourrait s'expliquer par des populations ayant des zones de répartition se chevauchant et le plus souvent soumise à un système d'élevage transhumant.

La valeur de F_{IT} qui mesure la consanguinité des individus relativement à celle de la population totale indique un excès global d'hétérozygotes de 9,9% en tenant compte des trois populations étudiées.

La différenciation génétique (F_{ST}) entre les différentes populations de zébu peuhl était importante indiquant que 17,3% de la variation génétique correspondent à des différences entre populations traduisant la présence de structuration géographique et génétique entre ces trois populations.

Cependant, en pratique sur le terrain, certains éleveurs appliquent des restrictions de croisement entre les différentes races bovines. Par contre dans les zones de transhumance, cette règle est difficile à appliquer. Ainsi cela pourrait s'expliquer en partie d'une forte différenciation génétique observée.

L'analyse en composante principale a montré une proximité génétique du zébu Peuhl de Diéma, Dioïla et de Kayes. Cela s'expliquerait par le fait que toutes les variétés de zébus Peulhs ont été considérées dans un seul lot l'or de la présente étude. Ce résultat confirme l'existence de flux génétique modéré entre ces populations et l'appartenance de ces génotypes à un même groupe génétique.

CONCLUSION

La race bovine autochtone zébu Peuhl a présenté une forte diversité génétique au niveau des loci étudiés. Les individus se sont regroupés en fonction de leurs similarités génétiques et indépendamment de leur origine géographique. Ces résultats offrent une estimation de la diversité génétique des zébus au Mali.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient le Fonds Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique (FCRIT) pour son soutien financier. Nous remercions également les services techniques de l'élevage : Service Local des Productions et des Industries Animales (SLPIA), Unités d'Appui aux Productions et aux Industries Animales (UAPIA), les Services Vétérinaires, ainsi que les éleveurs pour leur franche collaboration. Les auteurs remercient aussi les anonymes qui ont évalué cet article.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bister J, Traoré D, Kouyaté S. Elaboration de la stratégie nationale de gestion des ressources génétiques animales et d'amélioration génétique au Mali, Ministère de l'élevage et de la pêche, Direction Nationale des productions et des industries animales. 2016 ; 104.
- [2] DNPIA, Rapport annuel – Ministère de l'élevage et de la pêche. 2022 ; 139 p.
- [3] FAO. African cattle, types and Breeds. FAO Agricultural Studie, Rome. 1957 ; (37) : 56-60.
- [4] Freemen AR, Meghen C.M, Mac Hugh D.E, Loftus T, Achukwi M.D, Bado A, Sauveroche B et Bradley D.G. Admixture and diversity in West African cattle population. Molecular Ecology. 2004; 13, 3477-3487.
- [5] Ibeagha-Awemu EM, Jann OC, Welmann C et Erhardt G. Genetic diversity, introgression and relationship West/Central African breeds. Genetics selection evolution. 2004 ; 36 : 673-690.
- [6] Kaboré M. Etude de la diversité génétique des taurins Baoulé du Burkina Faso à l'aide des marqueurs microsatellites DEA. Université d'Ouagadougou Burkina Faso Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre (UFR/SVT), CERBA/LABIOGENEURFR/SVT, DEA. 2012 ; 86 p.
- [7] Konaté D, Traoré D, Dao S, Fané R, Babana HA. Caractérisation génétique du troupeau N'Dama au ranch de Madina-Diassa au Mali. Université des Sciences et Techniques et des Technologies de Bamako. Centre National de l'insémination Artificielle Animale, Sotuba ex PDAM, Bamako, Mali. 2018 ; 5 p.
- [8] Konaté D. Caractérisation morphologique et génétique du Zébu Maure, Peuhl et de la N'Dama au Mali. Faculté des Sciences Techniques, Ecole Doctorale des Sciences et Technologies du Mali. 2022. 76 p.
- [9] Kouriba A, Sangaré N, Coulibaly MD. Rapport sur l'Etat des Ressources Génétiques Animales dans le Monde. Rapport du Mali. 2002.
- [10] Moazani-Goudarzi K, Vaiman D, Mercier D, Grohs C, Furet JP, Levezel H, Martin P. Emploi de microsatellites pour l'analyse de la diversité génétique des races bovines françaises : premiers résultats. Genetics Selection Evolution. 1994; 26 (1) : 155 p.
- [11] Moussa MMA, Grema M, Tapsoba SA, Issa M, Traoré A, Hamani M, Periasamy K. Analysis of genetic diversity of the bororo (Wodaabe) cattle breed from Niger using microsatellite markers. International journal of biological and chemical sciences. 2019; 13 (2) : 1109-1126.
- [12] N'Diaye NP, Sow A, Dayo GK, Ndiaye S, Sawadogo GJ, Sembène M. Genetic diversity and phylogenetic relationships in local cattle breeds of Senegal based on autosomal microsatellite markers. Veterinary World. 2015; 8 : 994-1005. DOI: 10.14202/vetworld.2015.994-1005.
- [13] Olivier L, Chevalet C, Fouillet JL. Utilisation des marqueurs pour la caractérisation des ressources génétiques. INRA prod. Anim., « Génétique Moléculaire : principes et applications aux populations animales ». 2000; 247-252
- [14] Thevenon S, Dayo GK, Sylla S, Sidibe I, Berthier D, Legros H, Boichard D, Eggen A, Gautier M. The extent of linkage disequilibrium in a large cattle population western Africa and its consequences for association studies. Animal genetics. 2007;38 : 277-228.

Activité antioxydante *in vitro* des flavonoïdes de *Detarium microcarpum* Guill & Perr (Fabaceae), récolté au Mali

Niaboula DEMBELE^{1*}, Aimé SOMBORO², Mamadou BADIAGA¹, Issiaka TOGOLA², Salimatou CISSE², Nah TRAORE² Mody CISSE³

1 Institut des Sciences Appliquées, USTTB, Mali

2 Faculté des Sciences et Techniques, USTTB, Mali*

3 Faculté de Pharmacie, USTTB, Mali

* Courriel auteur correspondant : d.niaboula@gmail.com

RÉSUMÉ : Les plantes médicinales sont utilisées depuis fort longtemps par les populations africaines pour traiter ou prévenir certaines maladies de par leur effet très bénéfique. Une des raisons pour lesquelles elles sont utilisées, demeure leur accessibilité à moindre coût étant donné que l’Afrique regorge d’une immense richesse en ressources végétales. De cette diversité, figure *Detarium microcarpum* (Guill et Perr), appartenant à la famille des *Fabaceae*. C’est un arbre vivace atteignant 9 à 10 m de haut et principalement rencontré dans les régions les plus sèches de l’Afrique occidentale et centrale. *D. microcarpum* est reconnu pour ses nombreuses vertus médicinales. Le but de ce travail est d’étudier l’activité antioxydante des flavonoïdes de *D. microcarpum*. Les flavonoïdes étant largement connus pour leur pouvoir antioxydant, dans cette étude, une extraction de flavonoïdes hétérosidiques des feuilles, écorces et racines de *D. microcarpum* récoltées dans deux régions du Mali a été menée, en vue d’évaluer l’activité antioxydante *in vitro*. Ces activités ont été mesurées par trois méthodes : une quantification de l’activité de piégeage du 2,2-diphénol-1-picrylhydrazyle (DPPH), la capacité antioxydante totale (CAT) et le pouvoir réducteur du fer (FRAP). Les essais *in vitro* ont démontré d’intéressantes capacités antioxydantes totales avec $541,3 \pm 43,9$ mg EAA/g pour les écorces de *D. microcarpum* de Sanankoroba. Le meilleur rendement de l’extraction des flavonoïdes a été remarqué chez les racines récoltées à Sikasso avec 5,42%. Les extraits de flavonoïdes de la phase aqueuse résiduelle des écorces de *D. microcarpum* de Sikasso ont donné une valeur de CI_{50} de $15,57 \pm 1,55$ µg/mL inférieure à celle de l’acide ascorbique utilisé comme référence pour le piégeage du radical DPPH. L’étude apporte la preuve que *D. microcarpum* possède une forte activité antioxydante *in vitro* et suggère une influence des flavonoïdes hétérosidiques des écorces sur cette activité. En perspective, des investigations ultérieures devraient s’étendre *in vivo*.

Mots-clés *Detarium microcarpum* ; *flavonoïdes* ; *activité antioxydante*.

INTRODUCTION

L’utilisation des plantes pour se soigner a accompagné les humains depuis fort longtemps (Gurib-Fakim, 2006). Une des raisons pour lesquelles elles sont utilisées, demeure leur accessibilité à moindre coût étant donné que l’Afrique regorge d’une immense richesse en ressources végétales. Les plantes ayant des vertus médicinales, renferment plusieurs composés actifs dont les activités thérapeutiques sont parfois complémentaires ou synergiques (Dembélé, 2023). Les composés phytochimiques ont suscité un grand intérêt en thérapeutique, notamment, les polyphénols. Ces derniers sont synthétisés par plusieurs familles botaniques telles que les Fabaceae (Wink 2013). Le genre *Detarium* comprend quatre espèces acceptées qui sont limitées à l’Afrique : *Detarium beurmannianum* Schweinf. *Detarium macrocarpum* Harms et *Detarium senegalense* J.F.Gmel et *Detarium microcarpum* Guill. & Perr (PROTA, 2010). Si les trois dernières espèces sont assez similaires sur le plan morphologique, elles sont différentes sur le plan écologique. *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. pousse normalement

dans les zones de savanes sèches et diffère de *Detarium senegalense* par sa plus petite taille, par ses folioles habituellement moins nombreuses, plus grandes et plus coriaces, par ses inflorescences plus compactes, par ses sépales poilus à l’extérieur et par ses fruits légèrement plus petits. *Detarium macrocarpum* Harms se rencontre dans les forêts humides (Lemmens, Loupe, et Oteng-Amoako 2008). *Detarium microcarpum*, encore appelé petit détar sucré est un arbre vivace atteignant 9 à 10 m de haut et principalement rencontré dans les régions les plus sèches de l’Afrique occidentale et centrale. Tous les organes du *D. microcarpum* Guill. Et Perr. sont utilisés en médecine traditionnelle. Les maladies traitées sont d’origines diverses, mais touchent principalement les infections bactériennes ou parasitaires de la sphère gastro-intestinale (Cavin et al. 2006 ; Manzo, Moussa, et Ikhri 2017) . Ils sont également utilisés pour traiter divers maux, notamment le paludisme, la bronchite et la méningite (Akah et al. 2012). L’écorce, les feuilles et les racines de *Detarium microcarpum* sont couramment utilisées pour leurs propriétés vitaminées (A, C, K). Préparées en infusions ou en décoctions, elles

servent à traiter les rhumatismes, les maladies vénériennes, les infections urogénitales, les hémorroïdes, les caries, les crises bilieuses, les maux d'estomac, les vers intestinaux et la diarrhée, y compris la dysenterie. Elles sont également utilisées contre le paludisme, la lèpre et l'impuissance.

Plusieurs facteurs peuvent accroître la génération des radicaux libres. Les réactions biochimiques normales du corps, une exposition élevée à l'environnement et des niveaux élevés de xénobiotiques alimentaires entraînent la génération d'espèces réactives de l'oxygène et d'espèces réactives de l'azote (Nimse et Pal 2015). Les espèces réactives de l'oxygène, en particulier les radicaux libres, ont été reconnus d'avoir une implication dans plusieurs maladies, dont le cancer et athérosclérose. De nos jours, les antioxydants naturels reçoivent de plus en plus d'attention ; les flavonoïdes en particulier.

Les flavonoïdes constituent un grand groupe de composés polyphénoliques, avec une structure benzo- γ -pyrone et sont ubiquitaires dans les plantes (Kumar et Pandey 2013). Ils agissent comme constituants pharmacologiquement actifs dans de nombreuses plantes médicinales et ont à leur actif de multiples propriétés biologiques, telles que, vasodilatatrices (Duarte et al. 1993), antioxydantes, anticancérigènes, anti-inflammatoires, antibactériennes, propriétés hépato-protectives, effets antiviraux, etc. ... (Tiwari et Hussain 2017). Dans ce travail, une extraction de flavonoïdes hétérosidiques des feuilles, écorces et racines de *Detarium microcarpum* récoltées dans deux régions du Mali a été menée, en vue d'évaluer l'activité antioxydante *in vitro*.

Dans ce contexte, une étude de dérivés naturels connus et nouveaux pourraient soutenir le développement de nouveaux médicaments et améliorer le traitement de diverses maladies.

MATERIEL ET METHODES MATÉRIEL

Les feuilles, écorces et racines de *D.microcarpum* ont été collectées à Sanankoroba (village de Bougoula) et à Sikasso (village de Tabarako), respectivement en octobre et novembre 2018. Ces sites ont été sélectionnés selon les critères suivants : (1) L'utilisation de *D. microcarpum* par les tradipraticiens de la santé. (2) Conditions climatiques contrastées entre les sites. Sikasso se caractérise par une pluviométrie suffisante pendant la saison des pluies avec une végétation allant des savanes boisées aux forêts galeries. En revanche, à Sanankoroba, les pluies tombent de manière irrégulière. (3) Abondance de *D. microcarpum*, (4) faible niveau de pollution environnementale.

Les feuilles ont été identifiées par les botanistes du Département de Médecine traditionnelle de l'Institut National en Santé Publique du Mali où un spécimen de référence a été déposé.

Detarium microcarpum 3053/DMT

Extraction des flavonoïdes hétérosidiques

Pour extraire les flavonoïdes hétérosidiques, 200g de matière végétale sèche finement broyée des feuilles, écorces et racines de *Detarium microcarpum* est mélangée avec 1800 mL de solution hydroalcoolique : Méthanol-eau (70-30). Le mélange est porté à reflux pendant 2 heures. L'extrait hydrométhanolique est récupéré par une filtration sous vide. Le méthanol est éliminé par une évaporation sous vide. Une extraction liquide-liquide avec l'éther de pétrole est effectuée avec le milieu ne contenant plus que l'eau pour extraire la chlorophylle et les cires. La phase aqueuse subit une autre extraction par le diéthyl éther jusqu'à épuisement, notamment pour extraire les génines libres. Les hétérosides flavonoïdiques sont obtenues par une extraction successive jusqu'à épuisement par l'acétate d'éthyle de la phase aqueuse. La phase aqueuse restante contient les flavonoïdes glycosylés plus polaires. Les extraits obtenus sont dénommés selon le solvant qui a permis leur récupération : extrait d'acétate d'éthyle et extrait aqueux résiduel. Les fractions récupérées sont soumises à une concentration à basse pression à 35°C, ensuite séchées puis pesées pour déterminer les rendements d'extraction exprimés par rapport à 100g de matière sèche (Dembélé, 2023).

Capacité antioxydante totale (CAT)

Dans chaque tube, introduire 300 μ L de chaque extrait dissout dans le méthanol et ajouter 3mL de la solution du réactif (0.6M d'acide sulfurique, 28mM de phosphate de sodium et 4mM de molybdate d'ammonium). Les tubes fermés, sont incubés à 95°C pendant 90 minutes. Le blanc et le témoin, l'acide ascorbique, sont préparés dans les mêmes conditions avec respectivement 300 μ L de méthanol et 3mL du réactif et 300 μ L de l'extrait de méthanol de l'acide ascorbique et 3mL du réactif. Les extraits, le témoin et le blanc, après refroidissement, sont soumis à la lecture de leurs absorbances à 695 nm.

La Capacité Antioxydante Totale (CAT) est exprimée en milligramme équivalents d'acide ascorbique par gramme de matière sèche (mg EAA/g MS) (Prieto, 1999).

DPPH

A 50 μ L de la solution d'extrait méthanolique des extraits de flavonoïdes à différentes concentrations (10, 15, 20, 25, 30 μ g/mL) sont ajoutés 1,95 mL d'une solution méthanolique de DPPH. Le mélange est incubé dans l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 517 nm. Dans les mêmes conditions, un blanc est préparé en mélangeant 50 μ L

de méthanol avec 1,95 mL de la solution méthanolique de DPPH (Lopes-Lutz et al. 2008).

Une solution méthanolique de l'acide ascorbique est utilisé comme le témoin. Les essais sont repris trois fois, afin de s'assurer de la fiabilité des résultats.

Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition (I%) qui permet de déterminer les IC₅₀.

Le calcul du pourcentage d'inhibition :

$$\%I = ((\text{Abs blanc} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs A blanc}) \times 100$$

Abs blanc: Absorbance du blanc

Abs échantillon : Absorbance de l'échantillon.

Test FRAP (Ferric Reducing-Anti-oxydant Power)

Le dosage du pouvoir réducteur des extraits méthanoliques des flavonoïdes hétérosidiques (AcOEt et H₂O) des différents organes de *D. microcarpum* a été réalisé par la méthode de Iqbal, Sivaraj et Gunasekaran, 2017) avec quelques modifications.

A 1mL de l'extrait de l'échantillon, ajouter 1 mL de tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 1 mL de solution à 1% de ferricyanure de potassium ou hexacyanoferate (III) de potassium (K₃Fe(CN)₆). Le mélange est incubé à 50 °C pendant 20 minutes. 1 mL d'acide trichloracétique à 10 % est ajouté au mélange. Les tubes sont centrifugés à 3000 rpm pendant 10min.

A un aliquote de 1 mL de surnageant, nous ajoutons 1mL d'eau distillée et 0,2mL d'une solution aqueuse de FeCl₃ (Chlorure ferrique) à 0.1%. Le blanc est préparé dans les mêmes conditions, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée (Bougandourara et BENDIMERAD, 2012). L'acide ascorbique est utilisé comme standard. L'absorbance est mesurée à 700 nm pour déterminer la quantité de formation de ferrocyanure ferrique (bleu de Prusse). Une augmentation de l'absorbance du mélange réactionnel est proportionnelle à une augmentation de la réduction du ferricyanure (Iqbal, Sivaraj et Gunasekaran, 2017)

L'activité antioxydante liée au pouvoir réducteur des extraits est exprimée en pouvoir réducteur (PR %) selon la formule suivante (Togola *et al.*, 2019):

$$PR = \frac{\text{Aa} - \text{Ab}}{\text{Aa}} \times 100$$

Où Aa : est l'absorbance de l'extrait et Ab : est l'absorbance du blanc

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus lors des tests de l'activité anti-oxydante ont été traités avec le logiciel d'analyse statistique ANOVA.

Les données du tableau I montrent que le plus grand taux de flavonoïdes hétérosidiques a été extrait des racines du site de récolte de Sikasso et le plus faible taux des feuilles du même site. Alors que les flavonoïdes sont le plus distribués dans les parties aériennes, la faible quantité des flavonoïdes issus des feuilles de *D. microcarpum* pourrait être provoquée par une différence de polarité.

Tableau 1 : Récapitulatif de la masse et du rendement des flavonoïdes hétérosidiques extraits de *Detarium microcarpum*.

Sites	Poids matériel végétal (g)			Rendement (%)		
	F	E	R	F	E	R
Sikasso	200	200	200	0,99	3,55	5,42
Sanankorooba	200	200	200	1,49	4,31	2,5

F : Feuilles, E : Ecorces ; R : Racines

L'acétate d'éthyle ayant une polarité inférieure à celle de l'eau, n'aurait pu extraire qu'une infime quantité et le reste aurait été entraîné dans la phase aqueuse. La différence du site de récolte n'influence que légèrement les rendements de l'extraction des différents organes à l'exception des racines. Cet écart marqué pourrait être dû, soit à une erreur de manipulation ayant causé le passage d'autres composés dans la phase d'acétate d'éthyle autre que les flavonoïdes pour les racines récoltées à Sikasso, soit à la différence de la qualité des sols.

Capacité antioxydante totale

La méthode de la Capacité Antioxydante Totale CAT détermine la quantité des espèces antioxydantes existantes dans les extraits de flavonoïdes hétérosidiques. La Capacité Antioxydante Totale des extraits de flavonoïdes hétérosidiques (phase d'acétate d'éthyle et la phase aqueuse résiduelle) des organes de *Detarium microcarpum* est exprimée en équivalents d'acide ascorbique. Pour la courbe d'étalonnage, l'acide ascorbique est utilisé comme étalon.

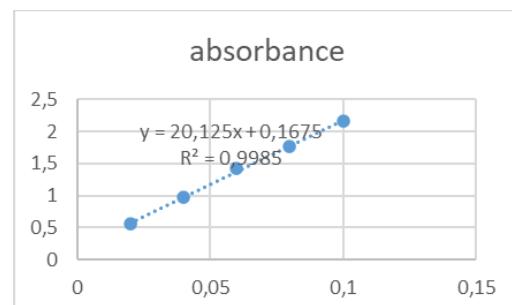


Figure 1 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la CAT

L'équation de la courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique $y = 20,125x + 0,1675$ et le coefficient de corrélation $R^2 = 0.9985$ permet de déterminer :

La concentration des espèces antioxydantes exprimée en mg/mL ;

La concentration des espèces antioxydantes exprimée en mg Equivalent Acide -Ascorbique par g de matière sèche : C mg EAA/ g MS = C mg EAA/ g MS=(A.Vi.F)/MS

C mg / mL. V mL. F / MS g] ;

C (mg/mL) : Concentration ;

A: absorbance;

Vi (mL): volume initial;

F: facteur de dilution;

MS (g): matière sèche.

Les résultats de la capacité anti-oxydante sont regroupés dans les tableaux suivants : CAT mg EAA/mL (C mg/mL) CAT mg EAA/g MS (C mg/g)

Tableau 2 : CAT - Capacité antioxydante totale des flavonoïdes hétérosidiques (phase acétate d'éthyle) extraits des feuilles, écorces et des racines de D. microcarpum

Extraits	CAT mg EAA/g MS (C mg/g)
Feuilles Sikasso	182,5±24,3
Feuilles Sanankoroba	312,8±57,0
Ecorce Sikasso	338,8±22,4
Ecorce Sanankoroba	541,3±43,9
Racine Sikasso	195,26±15,28
Racine Sanankoroba	349,6±37,1

Tableau 3 : CAT - Capacité anti oxydante totale des flavonoïdes hétérosidiques (phase aqueuse résiduelle) extraits des feuilles, écorces et des racines de D. microcarpum

Extraits	CAT mg EAA/g MS (C mg/g)
Feuilles Sikasso	112,97±10,49
Feuilles Sanankoroba	107,31±8,45
Ecorce Sikasso	266,83±7,55
Ecorce Sanankoroba	293,37±9,87
Racine Sikasso	192,86±12,62
Racine Sanankoroba	109,41±7,45

DPPH

Les résultats obtenus lors du dosage des différents extraits capables de piéger 50% de radicaux libres DPPH sont consignés dans les tableaux 4 et 5. Les valeurs de des IC₅₀ obtenues sont en µg/mL. L'acide ascorbique est la molécule utilisée comme référence.

Tableau 4 : Concentration inhibitrice de 50% des radicaux DPPH des flavonoïdes hétérosidiques (phase acétate d'éthyle) extraits des feuilles, écorces et des racines de D. microcarpum

Extraits et Témoin	CI ₅₀ (µg/mL)
Acide ascorbique	16,51 ± 0,71
Feuilles Sikasso	39,69 ± 3,10
Feuilles Sanankoroba	30,55 ± 2,50
Ecorce Sikasso	18,89 ± 0,55
Ecorce Sanankoroba	22,29 ± 2,05
Racine Sikasso	33,437 ± 0,384
Racine Sanankoroba	35,17 ± 1,99

Tableau 5 : Concentration inhibitrice de 50% des radicaux DPPH des flavonoïdes hétérosidiques (phase aqueuse résiduelle) extraits des feuilles, écorces et des racines de D. microcarpum

Extraits et Témoin	CI ₅₀ (µg/mL)
Acide ascorbique	16,51±0,71
Feuilles Sikasso	23,15±0,27
Feuilles Sanankoroba	27,71±1,49
Ecorce Sikasso	15,57±1,55
Ecorce Sanankoroba	16,61±0,24
Racine Sikasso	25,89±0,60
Racine Sanankoroba	20,19±0,53

FRAP

L'activité antioxydante *in vitro* de nos extraits a également été évaluée par la technique de réduction du fer « FRAP » (Ferric Reducing Antioxidant Power). L'acide ascorbique est la molécule utilisée

comme standard. Les résultats obtenus lors de cette étude sont enregistrés dans les tableaux suivants :

Tableau 6 : FRAP – Pouvoir réducteur des flavonoïdes hétérosidiques (phase aqueuse résiduelle) extraits des feuilles de D. microcarpum

Concentration (µg/mL)	Pouvoir réducteur		
	Sanankoroba	Sikasso	Standard
20	40,05±0,96	60,34±1,30	61,34±3,60
40	71,07±0,74	67,10±0,73	81,57±0,53
60	75,01±1,11	73,42±0,82	84,27667±0,88
80	79,13±0,92	78,38±1,90	87,44667±0,98
100	81,26±0,97	80,68±0,38	90,84667±0,17

Tableau 7 : FRAP – Pouvoir réducteur des flavonoïdes hétérosidiques (phase acétate d'éthyle) extraits des écorces de D. microcarpum

Concentration (µg/mL)	Pouvoir réducteur		
	Sanankoroba	Sikasso	Standard
20	66,38±1,84	69,43±0,3 8	61,34±3,6 0
40	77,2±1,90	74,21±1,6 0	81,57±0,5 3
60	81,66±0,60	80,68±0,4 6	84,28±0,8 8
80	83,11±0,50	84,30±1,2 9	87,45±0,9 8
100	84,66±0,09	87,27±0,4 2	90,85±0,1 7

Tableau 8 : FRAP – Pouvoir réducteur des flavonoïdes hétérosidiques (phase acétate d'éthyle) extraits des racines de D. microcarpum

Concentration (µg/mL)	Pouvoir réducteur		
	Sanankoroba	Sikasso	Standard
20	48,47±4,56	46,48±7,27	61,34±3,60
40	54,01±2,06	60,84±0,48	81,57±0,53
60	64,82±0,82	65,68±0,30	84,28±0,88
80	68,46±1,07	71,19±0,60	87,45±0,98
100	72,29±0,20	75,8±0,30	90,85±0,17

D'après les résultats obtenus, l'estimation de la capacité antioxydante totale des extraits a montré une variabilité en fonction du lieu de récolte. Nous observons que les flavonoïdes hétérosidiques de la phase AcOEt des organes de *D. microcarpum* du site de récolte de Sanankoroba ont un pouvoir antioxydant plus élevé que ceux extraits des organes récoltés à Sikasso. Les flavonoïdes extraits des écorces de tronc de *D. microcarpum* récoltées à Sanankoroba ont un pouvoir antioxydant plus prononcé comparativement aux autres organes (541,3±43,9 mg EAA/g MS).

Lorsque nous évaluons les résultats obtenus du test de la capacité antioxydante totale de la phase aqueuse résiduelle, nous observons des valeurs moins élevées par rapport à la phase d'AcOEt. Malgré une différence de phase, nous constatons que les écorces de *D. microcarpum* de Sanankoroba ont montré la plus grande CAT par rapport aux autres

organes. Le pouvoir antioxydant observé des flavonoïdes hétérosidiques de la phase AcOEt extrait des écorces pourrait être dû à une plus grande diversité de flavonoïdes ou à une synergie d'action comparativement aux autres parties de la plante.

L'activité anti-radicalaire des extraits de flavonoïdes issus des différents organes de *D. microcarpum* a été évaluée par la méthode de réduction du radical DPPH en déterminant la concentration inhibitrice à 50% (CI_{50}).

A toutes les concentrations testées, les extraits de flavonoïdes de la phase aqueuse résiduelle des feuilles, écorces et racines ont inhibé significativement le radical DPPH. Les CI_{50} sont comprises entre $18,89 \pm 0,55$ et $39,69 \pm 3,10 \mu\text{g/mL}$ pour la phase d'acétate d'éthyle et $15,57 \pm 1,55$ et $27,71 \pm 1,49 \mu\text{g/mL}$ pour la phase aqueuse. Les extraits de flavonoïdes hétérosidiques de la phase aqueuse ont donné des CI_{50} plus faibles que ceux de la phase d'acétate d'éthyle. Plus la CI_{50} est faible, meilleur est le pouvoir anti-radicalaire du composé. La phase aqueuse des extraits deflavonoïdes de *D. microcarpum* semble avoir une activité anti-radicalaire plus importante que celle de l'acétate d'éthyle. Les extraits de flavonoïdes issus des écorces ont montré des activités supérieures à celles des feuilles ou des racines. Les extraits de la phase aqueuse résiduelle issus des écorces de *D. microcarpum* récoltées à Sikasso et Sanankoroba, avec respectivement des CI_{50} de $15,57 \pm 1,55 \mu\text{g/mL}$ et $16,61 \pm 0,24 \mu\text{g/mL}$. La première CI_{50} est inférieure à celle de l'acide ascorbique ($16,51 \pm 0,71 \mu\text{g/mL}$) et la seconde est presque égale à la CI_{50} de l'acide ascorbique utilisé comme témoin.

A travers nos résultats, nous remarquons que de manière générale à quelques exceptions près, les flavonoïdes contenus dans les différentes phases aqueuses résiduelles ont plus la capacité à piéger les radicaux libres que ceux de la phase d'acétate d'éthyle. Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que les flavonoïdes glycosylés se retrouvent dans la phase d'acétate d'éthyle.

En général, les flavonoïdes sont sous forme de dérivés hydroxylés, méthoxylés et/ou glycosylés.

Le sucre lié est souvent du glucose ou du rhamnose. Le nombre de sucres est généralement un, mais il peut y en avoir deux ou trois et il y existe plusieurs positions de substitutions. La glycosylation influence les propriétés chimiques, physiques et biologiques des flavonoïdes (Rice-Evans 2001). Comme la glycosylation des flavonoïdes réduit leurs capacités de piéger les radicaux libres (Ramassamy 2006) alors ceci pourrait-être la raison pour laquelle la phase aqueuse résiduelle (certainement pauvre en flavonoïdes hétérosidiques) possède un pouvoir anti-radicalaire plus élevée que la phase d'acétate d'éthyle. D'autres études nous permettront de confirmer ou d'infirmer cela.

Le pouvoir réducteur du fer par les extraits de flavonoïdes des différents organes de *D.*

microcarpum. Cette méthode, FRAP est basée sur la capacité des extraits à réduire le fer ferrique Fe^{3+} en fer ferreux Fe^{2+} . Nous constatons que les extraits flavonoïdiques d'acétate d'éthyle et de la phase aqueuse résiduelle issus des feuilles, écorces et racines de *D. microcarpum* récoltés à Sikasso ont un bon pouvoir réducteur. Cependant, les extraits de la phase aqueuse résiduelle des trois organes récoltés à Sanankoroba ont donné des résultats moins probants que les autres extraits. Nous constatons que les flavonoïdes extraits des feuilles de *D. microcarpum*, aussi bien la phase d'acétate d'éthyle que la phase résiduelle, ont un bon pouvoir réducteur de fer excepté les extraits de la phase aqueuse résiduelle des feuilles de Sanankoroba et les écorces de Sikasso ont donné des résultats assez faibles par rapport aux autres extraits.

La phase d'acétate d'éthyle des extraits de flavonoïdes issus des racines a donné des résultats moins intéressants que les extraits issus des feuilles et des écorces de la même phase. Néanmoins, la phase résiduelle des extraits de flavonoïdes issus des racines de *D. microcarpum* récoltées à Sikasso a donné d'intéressants résultats de pouvoir de réduction de Fer.

Le fait que les extraits de flavonoïdes des racines soient moins dotés d'activités antioxydantes que les parties aériennes, pourrait être expliqué par la faible concentration en flavonoïdes dans les parties souterraines. Les flavonoïdes font partie des molécules qui absorbent la lumière de longueur d'onde comprise entre 220-380 nm et sont présents dans les cellules les plus externes des feuilles afin de réduire la pénétration des rayonnements. L'intensité du rayonnement UV pouvant varier, notamment avec l'altitude, les plantes s'adaptent en accumulant plus ou moins de flavonoïdes dans leurs feuilles (Cuadra, Harborne, et Waterman 1997).

Les flavonoïdes sont une classe de composés polyphénoliques ayant un fort pouvoir réducteur (Wang et al. 2021). Comparés à d'autres composés phytochimiques, les flavonoïdes ont une haute habileté dans la chélation du fer. Cependant, dans leur diversité structurale, certains ont plus de capacité de chélation que d'autres. Des sites de liaison avec le fer sont privilégiés. Des études ont montré que les flavonoïdes avaient une variété de sites de liaison du fer comme les positions 6,7-dihydroxy, le cycle B dans la structure du catéchol et la double liaison en position 2,3. Le groupement 3-OH peut également jouer le rôle de chélateur (Van Acker et al., 1996).

CONCLUSION

La présente étude nous a permis d'évaluer l'activité antioxydante des flavonoïdes hétérosidiques extraits des différents organes de *D. microcarpum* (feuilles, écorces de tronc et racines totales) récoltés sur deux différents sites du Mali. L'analyse des résultats obtenus nous montre avec grand intérêt que la CI_{50} obtenues lors du test DPPH

des extraits de flavonoïdes hétérosidiques des écorces de *D. microcarpum* est inférieure à celle de l'acide ascorbique. Ceci nous motive à réaliser une étude ultérieure sur le fractionnement bio-guidé de ces différents extraits. Ces résultats préliminaires pourraient constituer une base scientifique pour la recherche de nouveaux composés antioxydants. Des études ultérieures devraient s'étendre *in vivo*..

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akah, Peter Achunike, Chukwuemeka Sylvester Nworu, Florence Nwakaego Mbaoji, Ifeoma Amarachukwu Nwabunike, et Collins Azubuike Onyeto. 2012. « Genus Detarium: Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological profile ». *Phytopharmacology*, 2012.
- Bougandourara, Nabila, et Nassima BENDIMERAD. 2012. « Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de Satureja calamintha ssp.Nepeta (L.) Briq. ». *Nature et Technologies*, 2012.
- Cavin, Anne-Laure, Anne-Emmanuelle Hay, Andrew Marston, Helen Stoeckli-Evans, Rosario Scopelliti, Drissa Diallo, et Kurt Hostettmann. 2006. « Bioactive Diterpenes from the Fruits of *Detarium m. Ircocarpum* ». *Journal of Natural Products* 69 (5): 768-73. <https://doi.org/10.1021/np058123q>.
- Cuadra, Pedro, Jeffrey B. Harborne, et Peter G. Waterman. 1997. « Increases in Surface Flavonols and Photosynthetic Pigments in *Gnaphalium Luteo-Album* in Response to UV-B Radiation ». *Phytochemistry* 45 (7): 1377-83. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00183-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00183-0).
- Dembélé Niaboula, 2023. Antonio Zarzuelo, José Jiménez, et Juan Tamargo. 1993. « Études ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de detarium microcarpum guill & perr (fabaceae) et flueggea virosa (roxb. ex willd.) voigt (euphorbiaceae), deux plantes médicinales récoltées au mali ». *Thèse de Doctorat*, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako.
- Duarte, Juan, Francisco Pérez-Vizcaíno, Antonio Zarzuelo, José Jiménez, et Juan Tamargo. 1993. « Vasodilator Effects of Quercetin in Isolated Rat Vascular Smooth Muscle ». *European Journal of Pharmacology* 239 (1-3): 1-7. [https://doi.org/10.1016/0014-2999\(93\)90968-N](https://doi.org/10.1016/0014-2999(93)90968-N).
- Gurib-Fakim, Ameenah. 2006. « Medicinal Plants: Traditions of Yesterday and Drugs of Tomorrow ». *Molecular Aspects of Medicine* 27 (1): 1-93. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.008>.
- Iqbal, Saleem, Chandrasekaran Sivaraj, et Krishnasamy Gunasekaran. 2017. « Antioxidant and Anticancer Activities of Methanol Extract of Seeds of *Datura stramonium* L ». *Free Radicals and Antioxidants* 7 (2): 184-89. <https://doi.org/10.5530/fra.2017.2.28>.
- Kumar, Shashank, et Abhay K. Pandey. 2013. « Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview ». *The Scientific World Journal* 2013: 1-16. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>.
- Lemmens, R H MJ, D Louppe, et AA Oteng-Amoako. 2008. *Bois d'œuvre*. PROTA.
- Lopes-Lutz, Daíse, Daniela S. Alviano, Celuta S. Alviano, et Paul P. Kolodziejczyk. 2008. « Screening of Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Artemisia Essential Oils ». *Phytochemistry* 69 (8): 1732-38. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.02.014>.
- Manzo, Lawaly Maman, Idrissa Moussa, et Khalid Ikhri. 2017. « Ethnobotanical Survey: A Comprehensive Review of Medicinal Plants Used Against Gastrointestinal Disorders in Niger, West Africa ». *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products In Press* (In Press). <https://doi.org/10.5812/jjnpp.65730>.
- Nimse, Satish Balasaheb, et Dilipkumar Pal. 2015. « Free Radicals, Natural Antioxidants, and Their Reaction Mechanisms ». *RSC Advances* 5 (35): 27986-6. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>.
- Prieto, Pilar. 1999. « Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E ». *Analytical Biochemistry* 269 (2): 337-41. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>.
- PROTA. 2010. « “Plant Resources of Tropical Africa” ». http://database.prota.org/PROTAhtml/Corchorus%20olitorius_E_n.htm.
- Ramassamy, Charles. 2006. « Emerging Role of Polyphenolic Compounds in the Treatment of Neurodegenerative Diseases: A Review of Their Intracellular Targets ». *European Journal of Pharmacology* 545 (1): 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2006.06.025>.
- Rice-Evans, Catherine. 2001. « Flavonoid Antioxidants ». *Current Medicinal Chemistry* 8 (7): 797-807. <https://doi.org/10.2174/0929867013373011>.
- Tiwari, SUSHIL CHANDRA, et NISREEN Hussain. 2017. « BIOLOGICAL ACTIVITIES AND ROLE OF FLAVONOIDS IN HUMAN HEALTH-A REVIEW ». *Indian J.Sci.Res.* 12 (2): 193-96.
- Togola, Issiaka, Abdramane Ansoumany Dembélé, Fatoumata Tounkara, Nouhoum Diarra, Mamadou Abdoulaye Konaré, Moussa Karembe, Seydou Zibba Maïga, et Doulaye Dembélé. 2019. « Evaluation of in vitro Antioxidant Activities of Ethanol Extracts of *Datura innoxia* Mill. Leaves and Seeds Harvested in Mali ». *Annual Research & Review in Biology*, septembre, 1-8. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v33i230115>.
- Wang, Xiaomin, Ye Li, Li Han, Jie Li, Cun Liu, et Changgang Sun. 2021. « Role of Flavonoids in the Treatment of Iron Overload ». *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 9 (juillet): 685364. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.685364>.
- Wink, M. 2013. « Evolution of Secondary Metabolites in Legumes (Fabaceae) ». *South African Journal of Botany* 89 (novembre): 164-75. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2013.06.006>.

Diversité Génétique du Mouton Peulh Toronké au Mali par Usage des Marqueurs Microsatellites

Abdoul Kader KOUYATE^{1*}, Oumar OUATTARA¹, Tandin Nicolas KAMATE¹, Aboubacar Lacina DIARRA¹, Drissa KONATE¹, Sognan DAO¹, Nanourou DEMBELE¹, Diakaridia TRAORE^{1,2}, Adama KONATE¹, Youssouf SANOGO¹, Adounigna KASSOGUE¹

¹Faculté des Sciences et des Techniques ; Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Mali.

²Centre National de l'Insémination Artificielle Animale, Bamako, Mali

* kabdoukader1@gmail.com

RESUME : L'élevage en général et celui des ovins en particulier jouent un rôle important dans l'économie nationale. Cet apport peut être amélioré par une bonne gestion de la biodiversité qui nécessite une caractérisation génétique. Dans la présente étude, 58 moutons Peul Toronké provenant des cercles de Kayes, de Diéma et de Nioro du Sahel ont été caractérisés en utilisant 10 marqueurs microsatellites par la technique PCR classique. Au total, 37 allèles ont été identifiés avec une moyenne de 3,7 allèles par locus. Les valeurs du PIC ont varié de 0,41 (DYMS1) à 0,69 (CSSM31 et OarJMP29) avec une moyenne de 0,59. Les moutons Peul Toronké ont été classé en deux (2) groupes GI et GII par l'analyse phylogénique. Le groupe GI a été constitué par 75% de la population étudiée dont 68% de moutons provenant de Ségala, 16% de Nioro du Sahel et 16% de Diéma. Le groupe GII a été formé par les autres 25%, dont 57% de moutons provenant de Nioro du Sahel, 36% de Diéma et 7% de Ségala. Le mouton Peulh Toronké présente une diversité génétique élevée au niveau des loci cibles. Ces résultats serviront à la conservation génétique et à la valorisation de la race au Mali.

Mots clés : *Mouton Peul Toronké, microsatellites, caractérisation, Mali*

INTRODUCTION

Le Mali possède le deuxième cheptel le plus important en Afrique de l'Ouest après le Nigeria. Le cheptel des ovins est estimé à plus de 21 149 809 têtes [1]. Ce cheptel est très diversifié et adapté aux conditions d'élevage de la savane, du Sahel et du Sahara. Parmi les races autochtones ovines au Mali, figure le mouton Peulh Toronké, une race du Sahel à cycle relativement court et ayant une bonne performance bouchère. Son rendement carcasse varie de 49 à 50% [2, 3]. L'élevage est pratiqué par au moins 80% de la population rurale [4] et joue un rôle important dans l'économie nationale.

Cependant, les productions animales sont insuffisantes. De ce fait, le Mali investit au moins 1 milliard par an dans la subvention du lait et des produits laitiers. En outre, la sécurité alimentaire reste un défi à relever.

Face à ces défis, l'exploitation rationnelle et judicieuse du mouton Peulh Toronké pourrait être une alternative fiable.

Cette exploitation nécessite une gestion efficace de la diversité zoogénétique qui est essentielle pour la conservation des races et le développement durable de l'élevage [5]. A cet effet, une bonne connaissance des caractéristiques morphologiques et génétiques est indispensable parce que les ressources génétiques disponibles sont d'autant mieux utilisées si elles sont mieux caractérisées [6]. Cette caractérisation revêt plusieurs aspects.

L'aspect morphologique et zootechnique ont été abordés dans plusieurs études [7, 8, 9, 10] mais la composante génétique est restée en marge des recherches animales. Les microsatellites sont un

outil idéal d'évaluation de la diversité génétique intra-race et inter-races [6].

C'est dans cette perspective que la présente étude porte sur la caractérisation génétique moléculaire du mouton Peulh Toronké élevé au Mali à l'aide de marqueurs microsatellites.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude et échantillonnage

L'étude a été conduite dans trois (3) régions (Kayes, Diéma et Nioro du Sahel). Ces localités se caractérisent par un climat soudano-sahélien et sahélien. La végétation est constituée de savanes arborées à arbustives avec des strates herbacées dominées par des graminées (annuelles et pérennes) telles que : Brachiaria deflexa, rachiaria distichophylla, Digitaria gayana, Panicum anabaptistum, Brachiaria mutica) [11]. Ces localités ont été sélectionnées d'une part en fonction de leur accessibilité facile et d'autre part de la présence de bons spécimens de la race d'étude.

L'étude a porté sur un effectif de cinquante-huit (58) moutons Peulh Toronké. Sur chaque animal choisi, environ trois millilitres (3mL) de sang ont été dans des tubes EDTA (Ethylène Diamine Tétra Acétique). Les échantillons de sang ont été étiquetés et transportés sous glace pour des analyses génétiques au laboratoire.

Conduite du troupeau

Les troupeaux sont conduits en système d'élevage agropastoral à travers l'exploitation des parcours naturels pendant les douze mois de l'année et complémenté par les résidus de récoltés et du tourteau de coton. Les suivis sanitaires sont effectués par les vétérinaires au besoin dans les élevages

paysans. Ces suivis sont essentiellement constitués des opérations d'antibiothérapie, des anti-inflammatoires, et des déparasitages (internes et externes).

Extraction d'ADN génomique des moutons

Les échantillons d'ADN génomique du mouton Peulh Toronké ont été extraits à partir du sang total en utilisant le kit d'extraction Promega ReliaPrep™ Blood gDNA Miniprep System. Les ADNs ont été dilués et conservés à 4°C pour les analyses.

Tableau 1 : Liste des marqueurs utilisés

Marqueurs	Séquences		T(°C)	Chrs
<i>SRCRSP1</i>	R	<i>ACCCCTGGTTTCACAAAAGG</i>	55	-
	F	<i>TGCAAGTTTTCCAGAGC</i>		
<i>OarCP34</i>	R	<i>GGGACAATACTGTCTTAGATGCTG</i>	56,5	3
	F	<i>GCTGAACAAATGTGATATGTTCAGG</i>		
<i>BM8125</i>	R	<i>GGGGGTAGACTTCAACATACG</i>	57	17
	F	<i>CTCTATCTGTGGAAAAGGTGGG</i>		
<i>BM6526</i>	R	<i>TGAAGGTAGAGAGCAAGCAGC</i>	60	26
	F	<i>CATGCCAACAAATATCCAGC</i>		
<i>OarJMP29</i>	R	<i>GAAGTGCGAAGATTCAAGGGGAAG</i>	56	24
	F	<i>GTATACACGTGGACACCGCTTTGAC</i>		
<i>BM757</i>	R	<i>TTGAGCCAACCAAGGAACC</i>	54	3
	F	<i>TGGAAACAAATGTAAACCTGGG</i>		
<i>CSSM31</i>	R	<i>GACTCTCTAGCACTTTATCTGTGT</i>	55,5	23
	F	<i>CCAAGTTAGTACTTGTAAGTACA</i>		
<i>DYMS1</i>	R	<i>CATAGTAACAGATCTCCTACA</i>	54	-
	F	<i>AACAAACATCAAACAGTAAGAG</i>		
<i>OarHH64</i>	R	<i>CACTCTATTGTAAGAATTGAATGAGAGC</i>	56	4
	F	<i>CGITCCCCTCACTATGAAAGTTATATATGC</i>		
<i>BM827</i>	R	<i>GTTGGACTTGCTGAAGTGACCC</i>	57	3
	F	<i>GGGCTGGTCGTATGCTGAG</i>		

Tableau 2 : Paramètres intra-populations

Marqueurs	Taille en Pb		Paramètres génétiques			
	Min	Max	Nb d'éch	Nb d'allèle	Diversité génétique	PIC
<i>SRCRSP1</i>	112	146	58	3	0,54	0,48
<i>DYMS1</i>	150	173	58	3	0,47	0,41
<i>OarCP34</i>	108	128	58	3	0,65	0,58
<i>OarHH64</i>	111	137	58	3	0,64	0,56
<i>CSSM31</i>	178	337	58	4	0,74	0,69
<i>BM827</i>	128	237	58	6	0,68	0,65
<i>BM8125</i>	129	150	58	3	0,66	0,58
<i>OarJMP29</i>	128	183	58	4	0,66	0,69
<i>BM757</i>	179	212	58	4	0,66	0,66
<i>BM6526</i>	122	163	58	4	0,66	0,57
Moyenne			58	3,7	0,66	0,59

Electrophorèse

Environ 5µl de chaque produit de PCR amplifié avec les marqueurs microsatellites ont été migrés sur un gel d'agarose CONDA MS-4 3% pendant 2h 30mn à 80V. Les bandes ont été révélées en observant le gel sous UV à l'aide de l'appareil Gel Documentation System E-BOX VX2 version 15.06.

Analyse moléculaire des données

La taille des allèles de chaque marqueur microsatellite a été déterminée en paire de base en utilisant le logiciel E-Capt version 15.06.

La diversité génétique de chaque locus a été

Amplification de l'ADN

Dix (10) marqueurs microsatellites (tableau 1) ont été utilisés pour amplifier par PCR classique les 58 échantillons de sang du mouton Peulh Toronké. Ces marqueurs ont été choisis dans le panel recommandé par l'International Society of Animal Genetics (ISAG) et la Food and Agriculture Organization [12]. Un mélange réactionnel de 25 µl a été préparé selon Konaté et al. [13].

analysée sur la base des paramètres statistiques suivants : le nombre d'allèles, la fréquence des allèles, le nombre de génotypes et le PIC (Polymorphism Information Content) en utilisant le logiciel Power Marker version 3.25. L'arbre phylogénétique a été construit par la méthode UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) avec le logiciel Power Marker version 3.25 et édité avec le logiciel MEGA 7.0 [14].

RESULTATS

Le nombre d'allèle varie d'une part d'un animal à l'autre pour le même marqueur et d'autre part selon

les marqueurs (figure 1). Au total 37 allèles ont été identifiés à partir de l'amplification des 58 moutons Peulh Toronké avec une valeur moyenne de 3,7 allèles par marqueur.

Le marqueur BM827 a été le plus polymorphe avec six (6) allèles suivis des marqueurs CSSM31, OarJMP29, BM757, BM6526 qui ont présenté quatre (4) allèles (tableau 2). Les autres (SRCRSP1, DYMS1, OarHH64, BM8125, OarCP34) ont présenté trois (3) allèles chacun. Les valeurs du PIC ont varié de 0,41 à 0,69 avec une moyenne de 0,59. Les valeurs les plus élevées ont été observées au niveau des loci OarJMP29 et CSSM31 avec une valeur de 0,69 chacun. La diversité génétique a varié de 0,47 (DYMS1) à 0,74 (CSSM31) avec une moyenne de 0,66.

Ces résultats ont montré que les loci sont très informatifs pour cette race. Ce qui signifie une variabilité génétique élevée de la race présente (tableau 2). Le dendrogramme construit à l'aide de distance génétique entre les individus de moutons de Peulh Toronké a permis de distinguer deux (2) groupes (GI et GII). Chaque groupe a présenté deux (2) sous-groupes (figure 2).

Le groupe GI a été constitué d'animaux de Ségala, Nioro et de Diéma soit 75% de la population totale et le groupe GII a été formé de 25 % d'animaux des mêmes localités. Ces valeurs indiquent que les populations présentent une ressemblance génétique et appartiennent à un même groupe génétique.

L'analyse de l'arbre montre que le regroupement des individus se fait par rapport à l'origine géographique. Cette répartition sur l'arbre phylogénétique s'explique par l'existence d'une large base génétique commune entre les différences populations.

DISCUSSION

La caractérisation moléculaire a révélé pour le même marqueur, une variation du nombre d'allèle et de la taille des allèles selon les échantillons. Cela pourrait s'expliquer par les différences entre les animaux échantillonnés. La caractérisation moléculaire des 58 moutons Peulh Toronké a permis d'enregistrer un nombre moyen d'allèle de 3,7 par locus.

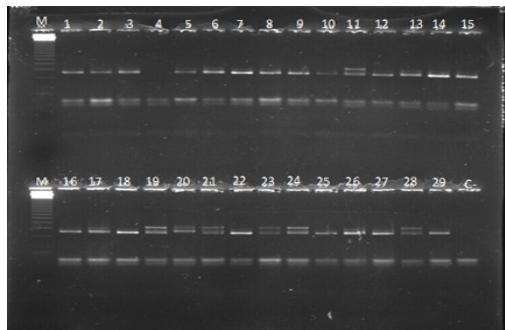


Figure 1 : Résultat du profil d'électrophorèse du marqueur SRCRSP1

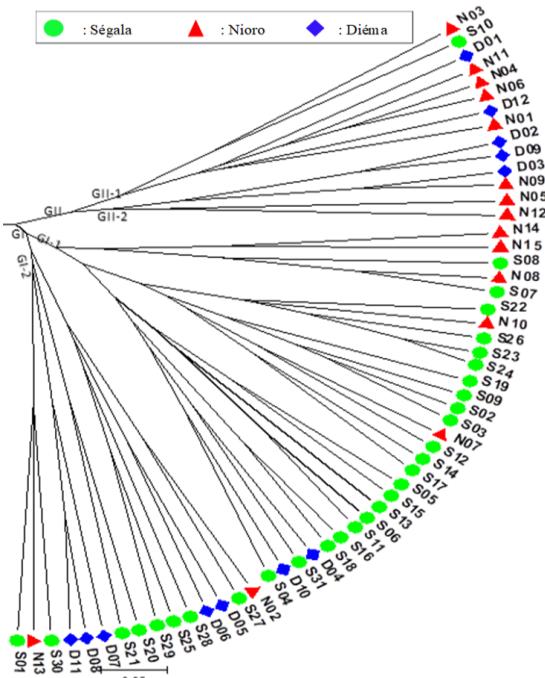


Figure 2: Dendrogramme des 58 moutons basé sur les similarités génétiques des 10 SSR

Cette moyenne est très proche à celle de Dao et al. [15] qui ont obtenu 3,2 pour le mouton Peulh Bali-Bali.

Cependant le nombre moyen d'allèle obtenu dans la présente étude est inférieur à celui obtenu par Togola [16] (3,7 contre 5,8) chez le mouton Maure à poils ras. De même ce nombre, est inférieur à ceux de Pramod et al. [17] et d'Alvarez et al. [18] qui ont obtenu respectivement 5,6 et 10,5 allèles par marqueur dans une population de mouton Vembur en Inde et d'une population de mouton Mossi, Djallonké et Sahel au Burkina Faso. Ces différences pourraient s'expliquer par les différences génétiques entre les populations d'ovins, les outils de PCR et le type d'agarose utilisé par les uns et les autres.

Le PIC moyen obtenu dans la présente étude est de 0,59. Cette valeur est similaire à celle de Togola [16] (0,59 contre 0,56). Pramod et al. [17] et Alvarez et al. [18] ont obtenu une valeur de 0,68 supérieure à celle de la présente étude. Cependant, Dao et al. [15] ont obtenu un PIC moyen de 0,43, inférieur à celui de la présente étude.

La diversité génétique moyenne obtenue dans la présente étude a été de 0,66. Cette valeur est supérieure à celle de Dao et al. [15] obtenue dans une population de mouton Bali bali (0,53) mais similaire à celle obtenue par Togola [16] (0,66 contre 0,61). Cependant, la diversité génétique obtenue par Gaouar [19] dans la caractérisation de six races ovines (D'men, Hamra, Ouled-Djellal, Rembi, Sidaoun et Tâadmit) d'Algérie a été de 0,73. Cette valeur est supérieure à celle obtenue dans la présente étude. Ces différences observées pourraient s'expliquer d'une part par la différence de race et d'autre part la zone cible (loci ciblés).

Le dendrogramme a regroupé les moutons Peulh Toronké en deux groupes distincts. Cela s'explique par une interconnexion entre les populations des différentes localités créant une large base génétique commune. Ce regroupement est différent de celui de Togola [16] qui a obtenu six groupes différents avec le mouton Maure à poil ras. Cette différence de regroupement peut s'expliquer par la variabilité génétique entre les deux races.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude a mis en évidence l'existence d'une diversité génétique au sein des populations de moutons Peulh Toronké au Mali. Les marqueurs utilisés se sont tous révélés polymorphes très informatifs.

Les individus se sont regroupés en fonction de leur similarité génétique et de leur origine géographique. Il serait intéressant d'élargir cette étude à d'autres races ovines du Mali et de séquencer le génome des animaux pour une caractérisation génétique complète.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Fonds Compétitif pour la Recherche et l'Innovation Technologique (FCRIT) pour son soutien financier sans oublier les services techniques de l'élevage pour leur franche collaboration. Ils remercient enfin l'université pour le plateau technique ayant permis de faire les analyses génétiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Direction Nationale des Productions et d'Industries Animales (DNPIA). *Rapport annuel*. 2022, 80 p.
- [2] Kouriba A, Nantoumé H, Togola D. *Caractères de reproduction et mortalité des jeunes moutons Toronké à la station de recherche zootechnique de Kayes*. Tropicultura 2004 ; 22 (3) : 134-138
- [3] Nialibouly O. *Répertoire des races locales bovines, ovines et caprines du Mali*. 2016
- [4] International Livestock Research Institut (ILRI). *Revue du potentiel de la Gestion participative des parcours pastoraux (PRM) et de l'assurance bétail indicelle (IBLI) comme contribution à la mise en œuvre de la GMV au Mali*. 2021.: 10.
- [5] Food and Agriculture Organization (FAO). *L'état des ressources zoogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde*, édité par Barbara Rischkowsky et Dafydd Pilling. 2008 ; Rome (Italy) : 556.
- [6] Ollivier L, Chevalet C, Fouilley JL. *Utilisation des marqueurs pour la caractérisation des ressources génétiques*. INRA Prod. Anim. 2000 ; « Génétique moléculaire : principes et applications aux populations animales » : 247-252.
- [7] Doutressoule G. *L'élevage en Afrique Occidentale Française*. Paris : Larose, 1947 ; 292p.
- [8] Wilson RT. Production animale ; In : Wilson, PN de Leeuw et C de Haan (eds.) *Recherche sur les systèmes de production des zones arides du Mali : résultats préliminaires*. Centre International Pour l'Elevage en Afrique (CIEPA), Addis Abeba, Ethiopie, 1983; 63-94.
- [9] Wilson RT. *Small ruminant production and the small ruminant genetic resource in tropical Africa*, In: FAO Animal production and health paper, 1991; 231p
- [10] Ouattara O. *Caractérisation morpho-métrique du mouton Toronké élevé en milieu réel au Mali*. Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur en zootechnie de l'IPR/IFRA de Katiougou. 2022 ; Vol. 39p
- [11] Breman H, Ketelaars JMH, Van Keulen H et De Ridder N. *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. DLO - Centre de Recherches Agrobiologiques (CABODLO), Pays-Bas, Editions KARTHALA, ACCT, CABO-DLO et CTA, 1991 ; ISBN : 2-86537-339-8.
- [12] Food and Agriculture Organization (FAO). *Liste des marqueurs microsatellites*. 2011 ; Rome (Italy). p
- [13] Konaté D, Traore D, Dao S, Fané R, Babana HA, Ouattara O, Diop R, Sanogo Y, Nialibouly O et Coulibaly D. *Genetic variability of Maure zebu in Mali using SSR markers*. 2021; Vol. 13(2), 31-37
- [14] Kumar S, Stecher G, Tamura K. [MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets](#). Mol Biol .2016 ; 33 (7) : 1870-4.
- [15] Dao M, Sanogo S, Sacko I, Sidibe A et Diakite K. *Diversité génétique du mouton (Ovis aries) de race Bali-bali à la station de Same au Mali*. 2022. Revue Malienne de Science et de Technologie. Vol. 02 N°27 ; ISSN 1987-1031.
- [16] Togola S. Caractérisation génétique du mouton Maure à poil ras à l'aide des marqueurs microsatellites. Mémoire de fin cycle. Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katiougou. 2022 : 51.
- [17] Pramod S, Kumarasamy P, Rosalyn Mary Chandra A, Sridevi P, Rahumathulla PS. *Molecular characterization of vembour sheep (Ovis aries) of south India based on microsatellites*. 2009. Indian Journal of Science and Technology. Vol 2 No. 11, 55-58.
- [18] Alvarez I, Traore A, Tamboura HH, Kabore A, Royo LJ, Fernandez I, Ouedraogo-Sanou G, Sawadogo L, Goyache F. *Microsatellite analysis characterizes Burkina Faso as a genetic contact zone between Sahelian and Djallonké sheep*. 2009. Animal Biotechnology, 20 : 47-57.
- [19] Gaouar SBS. *Etude de la biodiversité : Analyse de la variabilité génétique des races et de leurs relations phylogénétiques par l'utilisation de microsatellites*. 2009. Thèse de doctorat à l'Université d'ORAN ES-SENIA.